

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 3 月 25 日 (25.03.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/025380 A1

(51) 国際特許分類: G03H 1/26, 1/16

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/011625

(22) 国際出願日: 2003 年 9 月 11 日 (11.09.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2002-265935 2002 年 9 月 11 日 (11.09.2002) JP ✓

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 竹森 民樹 (TAKE-MORI, Tamiki) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野

町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 池田 貴裕 (IKEDA, Takahiro) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒104-0061 東京都 中央区 銀座一丁目10番6号 銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

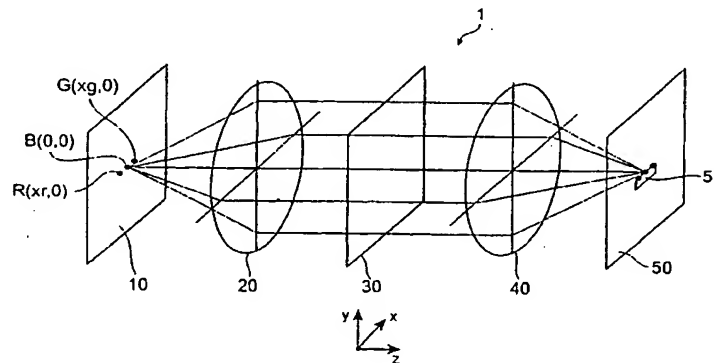
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,

/ 続葉有 /

(54) Title: THREE-DIMENSIONAL DISPLAY AND THREE-DIMENSIONAL DISPLAY METHOD

(54) 発明の名称: 三次元像表示装置及び三次元像表示方法



(57) Abstract: A small, inexpensive three-dimensional image display having a structure for displaying a color three-dimensional image sharply even if a low-resolution spatial optical modulating element is used. The three-dimensional image display has an illumination light source unit, a transmission spatial optical modulating element, a lens, and a mask. The illumination light source unit includes three point light sources outputting illumination light components having wavelengths (red, green, blue) different from one another. The point light source outputting the blue illumination light component of the shortest wavelength is disposed in position B (0, 0) on the optical axis of an illumination optical system, the point light source outputting the red illumination light component is disposed in position R (x_r , 0), and the point light source outputting the green illumination light component is disposed in position G (x_g , 0). An aperture section of the mask is disposed in the region where the zero-order diffracted waves of the reproduction light components of the three wavelengths after subjected to wavefront conversion by the lens are superposed on one another. The illumination optical system determines the direction of incidence of each of the illumination optical components of the three wavelengths on the spatial optical modulation element.

/ 続葉有 /



WO 2004/025380 A1



GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

この発明は、低解像度の空間光変調素子を利用した場合であっても鮮明に三次元像のカラー表示を可能にする構造を備えた小型かつ安価な三次元像表示装置等に関する。当該三次元像表示装置は、照明光源部、透過型の空間光変調素子、レンズ、及びマスクを備える。照明光源部は、互いに異なる波長（赤、緑、青）の照明光成分を出力する3つの点光源を有する。最短波長の青色の照明光成分を出力する点光源は、照明光学系の光軸上の位置B（0，0）にあり、赤色の照明光成分を出力する点光源は位置R（ x_r ，0）にあり、そして、緑色の照明光成分を出力する点光源は位置G（ x_g ，0）にある。マスクの開口部は、3波長の再生光成分それぞれの0次回折波がレンズにより波面変換された後に互いに重なる領域に設けられている。このようになるように、3波長の照明光成分それぞれの空間光変調素子への入射方位が照明光学系により設定されている。

明細書

三次元像表示装置及び三次元像表示方法

技術分野

【０００１】 この発明は、複数波長の照明光成分をホログラムに入射させることにより、該ホログラムから該複数波長の再生光成分を発生させ、これら再生光成分により三次元像を表示する装置及び方法に関するものである。

背景技術

【０００２】 ホログラムを利用した三次元像表示装置は、照明光成分が照射されたホログラムから再生光成分を発生させ、該発生した再生光成分により三次元像を表示する。また、三次元像表示装置は、複数波長の照明光成分（例えば、赤色、緑色及び青色の３色成分）をホログラムに入射させることで、三次元像をカラー表示を可能にする。

【０００３】 なお、第１従来技術としては、高分解能で記録が可能な写真乾板を利用する技術が知られている。この第１従来技術では、ホログラム記録時に、複数波長それぞれの参照光成分及び物体光成分を写真乾板に入射させ、該写真乾板に各波長に関連した（associated）ホログラムを多重記録する。一方、再生時には、記録時と同じ複数波長の照明光成分を同一入射方位でホログラムに入射させることで、該複数波長成分の再生光成分を発生させる。これにより、これら再生光成分それぞれの像が同一位置に重ね合わされて、カラーの三次元像が得られる。

【０００４】 しかしながら、この第１従来技術では、各波長に関連したホログラムが写真乾板に多重記録されていることから、波長 λ_a に関連したホログラムに該波長 λ_a の照明光成分が入射して該波長 λ_a の再生光成分が発生するだけでなく、該波長 λ_a に関連したホログラムに他の波長 λ_b （ $\lambda_a \neq \lambda_b$ ）の照明光成分も入射してしまい、該波長 λ_a に関連したホログラムから波長 λ_b の再生光成分も発生する。これら波長 λ_a の再生光成分及び波長 λ_b の再生光成分のうち、波長 λ_a の再生光成

分が本来の三次元像のカラー表示に必要な光成分である。これに対して、波長 λ_b の再生光成分は、本来の三次元像とは異なる位置に異なる倍率で再生される光成分であることから、本来の三次元像に対してクロストーク成分となり、三次元像表示の妨げとなる。そこで、このようなクロストークを回避するためには、記録時に、物体光成分が写真乾板に略垂直に入射する場合に、複数波長の参照光成分それぞれを互いに異なる方位から該写真乾板へ入射させることにより、再生時にクロストークとなる光成分が本来の三次元像に重ならないようにしている。

【0005】 また、第2従来技術として、高野邦彦、他、「白色光によるカラーホログラフィ立体テレビの検討」、3D Image Conference 2000 講演論文集、pp.179-182 には、ホログラムを呈示することができる3種類の空間光変調素子を利用する技術が開示されている。すなわち、第1空間光変調素子には赤色光に関連したホログラムが呈示され、第2空間光変調素子には緑色光に関連したホログラムが呈示され、第3空間光変調素子には青色光に関連したホログラムが呈示される。そして、第1空間光変調素子に赤色の照明光成分を入射させ、第2空間光変調素子に緑色の照明光成分を入射させ、第3空間光変調素子に青色の照明光成分を入射させてることにより空間光変調素子それぞれから発生した再生光成分を空間的に重ね合わせ、後段に設けられたマスクにより0次透過光を除去して、カラーの三次元像を得る。

【0006】 さらに、第3従来技術として、特開2000-250387号公報に記載された技術は、空間光変調素子の画素構造が離散的であることを積極的に利用する。すなわち、一般の回折格子に平行光を入射させると0次回折波だけでなく1次以上の高次回折波も発生する。これと同様に、離散的画素構造を有する空間光変調素子から発生する再生光成分には0次回折波だけでなく高次回折波をも含まれる。空間光変調素子における隣接2画素において、物体光成分と参照光成分との合成波面の位相差を π 未満の範囲（折り返し成分が無い範囲）を呈示範囲として限定し、ホログラムを空間光変調素子に呈示した場合、照明光成分の

入射により空間光変調素子から発生する再生光成分の高次回折波の波面は0次回折波と一致する。しかしながら、空間光変調素子からの出射方位は次数毎に異なる。再生光成分は、空間光変調素子の後段に設けられたレンズの後焦点面において、回折波の次数毎に $\lambda f / P$ の間隔で分離して波面変換される。ここで、 λ は照明光成分の波長であり、 f はレンズの焦点距離であり、 P は空間光変調素子の画素ピッチである。したがって、所望の三次元像を得るために、レンズの後焦点面に各辺の長さが $\lambda f / P$ の矩形形状の開口部を有するマスクを設け、この開口部により再生光成分の0次回折波を通過させる。その一方で高次回折波をマスクにより遮断する。

【0007】 また、上記第3従来技術では、空間光変調素子における隣接2画素において、物体光成分と参照光成分との合成波面の位相差を π 以上 2π 未満の範囲（1次の折り返し成分を含む範囲）を呈示範囲として限定し、ホログラムを空間光変調素子に呈示した場合、照明光成分の入射により空間光変調素子から発生する再生光成分の高次回折波の波面は0次回折波と一致する。このため、0次回折波及び全ての高次回折波は1次の折り返し成分を含む。再生光成分のうち所望の1次回折波のみを取り出すためには、空間光変調素子の後段に設けられたレンズの後焦点面に各辺の長さが $\lambda f / P$ の矩形形状の開口部を有するマスクを設けて、この開口部により再生光成分の1次回折波を通過させる。その一方で0次回折波及び2次以上の高次回折波をマスクにより遮断する。

すなわち、上記第3従来技術では、呈示範囲を特定次数の折り返し成分を含む範囲に限定してホログラムを空間光変調素子に呈示するとともに、その特定次数に対応した位置に開口部を有するマスクを用いて再生光成分のうちから特定次数の回折波を取り出す。そして、各次数に関連したホログラムの呈示と開口部の選択とを時分割又は空間合成することにより、レンズによる結像再生像の出射方位範囲（すなわち視域）を拡大することができる。

発明の開示

【0008】 発明者らは、上述の第1～第3従来技術それぞれについて検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、第1従来技術は、高分解能で記録が可能な写真乾板を利用する場合には好適である。しかしながら、空間分解能が低い空間光変調素子を利用する場合には、該空間光変調素子への照明光成分の入射角を大きくすることができないため、再生時にクロストークとなる再生光成分が本来の三次元像に重なってしまう。また、第3従来技術の説明の際に述べたように、離散的画素構造を有する空間光変調素子から発生した各次数の回折波の重なりが生じる。このことから、離散的画素構造を有し低分解能である空間光変調素子を上記第1従来技術も適用することは困難である。

【0009】 第2従来技術は、複数の空間光変調素子それぞれから発生した再生光成分を空間的に重ね合わせるが、その重ね合わせのためにハーフミラーが必要となる。このことから、当該第2従来技術では、装置が大型となり、再生光成分の光量が低下する。また、再生光成分の光量の低下を補償するために、照明光成分として高パワーのレーザ光を出力するレーザ光源が必要となり、或いは、波長選択性を有する誘電体ミラーが必要となるため、装置自体が高価となる。

【0010】 第3従来技術は、視域拡大を目的としており、単一波長の照明光成分を空間光変調素子へ垂直に入射させる。したがってこの第3従来技術は、複数波長の照明光成分を空間光変調素子へ入射させる技術では無く、また、照明光成分を空間光変調素子へ斜め入射させる技術でも無い。また、第3従来技術は、空間合成することに起因して装置自体が大型化してしまうという課題や、時分割するためにレンズの後焦点面に高速シャッタを設ける必要があることから装置自体が高価になるという課題がある。

【0011】 この発明は上述のような課題を解決するためになされたものであり、低解像度の空間光変調素子を利用する場合であっても鮮明に三次元像をカラー表示することができる小型かつ安価な三次元像表示装置及び三次元像表示方法を提供することを目的としている。

【0012】 この発明に係る三次元像表示装置は、複数波長の照明光成分をホログラムに入射させることにより、該ホログラムから該複数波長の再生光成分を発生させ、これら再生光成分により三次元像を表示する装置である。具体的に、この発明に係る三次元像表示装置は、空間光変調素子と、照明光学系と、再生像変換光学系と、マスクを備える。上記空間光変調素子は、複数波長それぞれに関連したホログラムを呈示する離散的画素構造を有する。上記照明光学系は、複数波長の照明光成分それぞれを平行平面波とし、互いに異なる入射方位で空間光変調素子に入射させる。上記再生像変換光学系は、空間光変調素子に呈示されたホログラムから発生した複数波長の再生像それぞれを、波面変換して虚像化もしくは実像化する。上記マスクは、再生像変換光学系の焦点面に設けられた開口部を有する。特に、この発明に係る三次元像表示装置において、空間光変調素子へ入射される複数波長の照明光成分それぞれの入射方位は、複数波長の再生光成分のうち何れかの次数の回折波が再生像変換光学系により波面変換された後に開口部において互いに重なるよう、照明光学系により設定される。

【0013】 また、この発明に係る三次元像表示方法は、複数波長の照明光成分をホログラムに入射させることにより、該ホログラムから複数波長の再生光成分を発生させ、これら再生光成分により三次元像を表示する。具体的には、複数波長それぞれに関連したホログラムを呈示する離散的画素構造を有する空間光変調素子を用意し、照明光学系によって複数波長の照明光成分それぞれを平行平面波として互いに異なる入射方位で空間光変調素子に入射させ、空間光変調素子に呈示されたホログラムから発生した複数波長の再生像それぞれを再生像変換光学系により波面変換して虚像化もしくは実像化させ、再生像変換光学系の焦点面に開口部を有するマスクを設けて、そして、空間光変調素子へ入射される複数波長の照明光成分それぞれの入射方位を、複数波長の再生光成分の何れかの次数の回折波が再生像変換光学系により波面変換された後に開口部において互いに重なるよう、照明光学系により設定する。

【0014】 この発明によれば、離散的画素構造を有する空間光変調素子に、複数次波長それぞれに関連したホログラムが呈示される。この空間光変調素子に対して、照明光学系により複数次波長の照明光成分それぞれが平行平面波とされ互いに異なる入射方位で入射する。空間光変調素子に呈示されたホログラムから発生した複数次波長の再生像それぞれは、再生像変換光学系により波面変換されて虚像化もしくは実像化される。その焦点面には、開口部を有するマスクを設けられている。そして、複数次波長の再生光成分それぞれの何れかの次数の回折波が再生像変換光学系により波面変換された後に開口部において互いに重なるよう、空間光変調素子へ入射される複数次波長の照明光成分それぞれの入射方位が照明光学系により設定される。

【0015】 この発明に係る三次元像表示装置又は三次元像表示方法において、照明光学系は、それぞれが出力波長の異なる複数次の単色光源と、複数次の単色光源それぞれに近接して設けられた複数次のピンホールと、そして、複数次の単色光源それぞれより出力されピンホールを通過した光をコリメートするコリメート光学系とを含むのが好ましい。

【0016】 この発明に係る三次元像表示装置又は三次元像表示方法において、照明光学系は、複数次波長の光成分に対して同一の焦点距離を有する色収差補正レンズを含むのが好ましく、また、再生像変換光学系は、複数次波長の光成分に対して同一の焦点距離を有する色収差補正レンズを含むのが好ましい。

【0017】 この発明に係る三次元像表示装置又は三次元像表示方法において、空間光変調素子へ入射される複数次波長の照明光成分それぞれの入射方位は、複数次波長の再生光成分それぞれの0次回折波が再生像変換光学系により波面変換された後に開口部において互いに重なるよう、照明光学系により設定されるのがより好ましい。

【0018】 また、この発明に係る三次元像表示装置又は三次元像表示方法において、空間光変調素子へ入射される複数次波長の照明光成分それぞれの入射方位

は、複数波長のうち何れかの特定波長の照明光成分が空間光変調素子に垂直入射されるとともに、特定波長の再生光成分の0次回折波と他の波長の再生光成分の高次回折波とが再生像変換光学系により波面変換された後に開口部において互いに重なるよう、照明光学系により設定されてもよい。

5 【0019】 この発明に係る三次元像表示装置又は三次元像表示方法において、空間光変調素子の画素ピッチをPとし、再生像変換光学系の焦点距離をfとし、複数波長のうち最短波長 λ_1 の再生光成分の回折波の次数を n_1 とし、他の波長 λ_i の再生光成分の回折波の次数を n_i とすると、空間光変調素子へ入射される波長 λ_i の照明光成分の入射角 θ_i は、

10 【0020】 $\theta_i = \sin^{-1} \{ (n_1 \lambda_1 - n_i \lambda_i) / P \}$

なる式で表され、そして、開口部は、各辺の長さが $\lambda_1 f / P$ 以下の矩形形状であるのが好ましい。

15 【0021】 この発明に係る三次元像表示装置又は三次元像表示方法において、空間光変調素子は、照明光成分が入射する側と反対の側に再生光成分を出射する透過型構造を有するか、或いは、照明光成分が入射する側と同一の側に再生光成分を出射する反射型構造を有するのが好ましい。また、この空間光変調素子が反射型構造を有する場合、照明光学系と再生像変換光学系とは、光部品の一部を共有しているのがよい。

20 【0022】 この発明に係る三次元像表示装置又は三次元像表示方法において、空間光変調素子は画素毎にマイクロレンズが搭載されていてもよい。

【0023】 なお、この発明に係る各実施例は、以下の詳細な説明及び添付図面によりさらに十分に理解可能となる。これら実施例は単に例示のために示されるものであって、この発明を限定するものと考えべきではない。

25 【0024】 また、この発明のさらなる応用範囲は、以下の詳細な説明から明らかになる。しかしながら、詳細な説明及び特定の事例はこの発明の好適な実施例を示すものではあるが、例示のためにのみ示されているものであって、この発

明の思想及び範囲における様々な変形及び改良はこの詳細な説明から当業者には自明であることは明らかである。

図面の簡単な説明

【0025】 図1は、この発明に係る三次元像表示装置における第1実施例の構成を示す図である；

【0026】 図2は、第1実施例に係る三次元像表示装置の照明光学系及び空間光変調素子を説明するための図である；

【0027】 図3は、第1実施例に係る三次元像表示装置の照明光学系を説明するための図である；

【0028】 図4は、第1実施例に係る三次元像表示装置において、空間光変調素子へ青色の照明光成分が垂直入射したときの三次元像の一輝点の表示動作を説明するための図である；

【0029】 図5は、第1実施例に係る三次元像表示装置において、空間光変調素子へ青色の照明光成分が垂直入射するときに空間光変調素子に呈示されるホログラムを説明するための図である；

【0030】 図6は、第1実施例に係る三次元像表示装置において、空間光変調素子へ照明光成分が斜め入射したときの三次元像の一輝点の表示動作を説明するための図である；

【0031】 図7及び図8は、第1のホログラム作成方法により作成されたホログラムを説明するための図である；

【0032】 図9は、図7に示されたホログラムが空間光変調素子に呈示された場合であって空間光変調素子へ照明光成分が斜め入射したときの三次元像の一輝点の表示動作を説明するための図である；

【0033】 図10は、第2のホログラム作成方法を説明するための図である；

【0034】 図11は、理想的な場合における3波長の点光源それぞれの配置を示す図である；

【0035】 図12は、理想的な場合において、マスク位置における赤色の再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

【0036】 図13は、理想的な場合において、マスク位置における緑色の再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

5 【0037】 図14は、理想的な場合において、マスク位置における青色の再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

【0038】 図15は、理想的な場合において、マスク位置における赤色、緑色及び青色の再生光成分それぞれの0次回折波の波面変換領域を示す図である；

10 【0039】 図16は、第1実施例に係る三次元像表示装置の照明光源部10における3つの点光源それぞれの配置を示す図である；

【0040】 図17は、第1実施例に係る三次元像表示装置のマスク配置位置における赤色の再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

【0041】 図18は、第1実施例に係る三次元像表示装置のマスク配置位置における緑色の再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

15 【0042】 図19は、第1実施例に係る三次元像表示装置のマスク配置位置における赤色、緑色及び青色それぞれの再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

【0043】 図20は、第1実施例に係る三次元像表示装置の変形例Aであって、の照明光源部における3つの点光源それぞれの配置を示す図である；

20 【0044】 図21は、第1実施例に係る三次元像表示装置の変形例Aであって、マスク配置位置における赤色の再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

【0045】 図22は、第1実施例に係る三次元像表示装置の変形例Aであって、マスク配置位置における緑色の再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

25 【0046】 図23は、第1実施例に係る三次元像表示装置の変形例Aであって

て、マスク配置位置における赤色、緑色及び青色それぞれの再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

【0047】 図24は、第1実施例に係る三次元像表示装置の変形例Bであって、照明光源部における3つの点光源それぞれの配置を示す図である；

5 【0048】 図25は、第1実施例に係る三次元像表示装置の変形例Bであって、マスク配置位置における緑色の再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

10 【0049】 図26は、第1実施例に係る三次元像表示装置の変形例Bであって、マスク配置位置における赤色、緑色及び青色それぞれの再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

【0050】 図27は、この発明に係る三次元像表示装置における第2実施例の構成を示す図である；

【0051】 図28は、この発明に係る三次元像表示装置における第3実施例の構成を示す図である；

15 【0052】 図29は、第3実施例に係る三次元像表示装置のマスク配置位置における赤色、緑色及び青色それぞれの再生光成分の0次回折波の波面変換領域を示す図である；

【0053】 図30は、この発明に係る三次元像表示装置における第4実施例の構成を示す図である；

20 【0054】 図31及び図32は、第4実施例に係る三次元像表示装置のマスク配置位置における赤色、緑色及び青色それぞれの再生光成分の各次数の回折波の波面変換領域を示す図である；

【0055】 図33は、第4実施例に係る三次元像表示装置の空間光変調素子及び波面変換光学系を説明するための図である；

25 【0056】 図34は、第4実施例に係る三次元像表示装置の空間光変調素子における照明光成分入射角と再生光成分出射角との関係を説明するための図であ

る；

【0057】 図35は、この発明に係る三次元像表示装置における第5実施例の構成を示す図である；そして、

【0058】 図36は、この発明に係る三次元像表示装置における第6実施例の構成を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

【0059】 以下、この発明に係る三次元像表示装置及び三次元像表示方法の各実施例を、図1～4 図36を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において同一又は同等の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、説明の便宜の為、各図の座標系は、空間光変調素子に垂直な方向をz軸とするxyz直交座標系である。

(第1実施例)

【0060】 まず、この発明に係る三次元像表示装置及び三次元像表示方法の第1実施例について説明する。図1は、この発明に係る三次元像表示装置における第1実施例の構成を示す図である。この図に示された三次元像表示装置1は、照明光源部10、レンズ20、透過型の空間光変調素子30、レンズ40及びマスク50を備えている。照明光源部10及びレンズ20は、3波長の照明光成分それぞれを平行平面波とし互いに異なる入射方位で空間光変調素子30に入射させる照明光学系を構成している。また、レンズ40は、空間光変調素子30に呈示されたホログラムから発生した3波長の再生像それぞれを、波面変換して虚像化もしくは実像化する再生像変換光学系を構成している。

【0061】 照明光源部10は、互いに異なる波長（赤、緑、青）の照明光成分を出力する3つの点光源を有している。これら3つの点光源は、x軸に平行な直線上の互いに異なる位置に配置されている。最短波長の青色の照明光成分を出力する点光源は、照明光学系の光軸上の位置B（0，0）にある。赤色の照明光成分を出力する点光源は位置R（ x_r ，0）にある。緑色の照明光成分を出力する

点光源は位置 $G(x_g, 0)$ にある。各々の点光源は、例えば発光ダイオードやレーザーダイオードなどを含み、単色性が優れた照明光成分を出力する。また、各々の点光源は、時系列に順次パルス点灯される。

【0062】 レンズ20は、 z 軸に平行な光軸を有しており、照明光源部20の3つの点光源それぞれから出力された各波長の照明光成分を、コリメートして平行平面波とし、互いに異なる入射方位で空間光変調素子30に入射させる。レンズ20が単一の凸レンズにより構成される場合、3つの点光源それぞれとレンズ20との間の間隔は、レンズ20の焦点距離に等しい。3つの点光源が上述の位置に配置されていることから、青色の照明光成分は空間光変調素子30に垂直入射し、赤色及び緑色それぞれの照明光成分は空間光変調素子30に斜め入射する。レンズ20は、各照明光成分の波長に対して同一の焦点距離を有する色収差補正レンズであるのが好ましい。

【0063】 空間光変調素子30は、離散的画素構造を有する透過型の空間光変調素子であり、3波長それぞれに関連したホログラムを時系列に順次呈示する。このホログラムは、振幅ホログラムであってもよいし、位相ホログラムであってもよい。そして、空間光変調素子30は、レンズ20より各波長の照明光成分が時系列に順次入射するのと同期して、各時点の波長に関連したホログラムを順次呈示する。これにより、各波長の再生光成分は時系列に順次出射される。すなわち、空間光変調素子30には、フィールドシーケンシャル方式が採用されている。

【0064】 レンズ40は、空間光変調素子30に呈示されたホログラムから発生した3波長の再生像それぞれを、波面変換して虚像化もしくは実像化した後にマスク50の面上を通過させようとする。レンズ40が単一の凸レンズにより構成される場合、レンズ40とマスク50との間の間隔は、レンズ40の焦点距離に等しい。レンズ40は、各照明光成分の波長に対して同一の焦点距離を有する色収差補正レンズであるのが好ましい。

【0065】 マスク50は、レンズ40の焦点面に設けられており、開口部5

1を有している。この開口部51は、各辺がx軸又はy軸に概略平行な矩形形状を有し、空間光変調素子30から発生する0次の回折波のみを選別する機能と、空間光変調素子30からの0次の直接透過光を遮断する機能と、さらに空間光変調素子30に呈示されたホログラムから発生した0次の回折波の光成分で実像もしくは共役像を形成し二重像の問題を生じる不要な光を遮断する機能とを有する。5
なお、空間光変調素子30からの0次の直接透過光は、レンズ40により集光されて光源の結像に寄与する光であって、再生像の背景光となりコントラストを低下させる。開口部51は、3波長の再生光成分のうち何れかの次数の回折波がレンズ40により波面変換された後に互いに重なる領域に設けられている。特に、10
本実施例では、開口部51は、3波長の再生光成分それぞれの0次回折波がレンズ40により波面変換された後に互いに重なる領域に設けられている。このように、空間光変調素子30へ入射される3波長の照明光成分それぞれの入射方位が、照明光学系により設定されている。

【0066】 図2は、第1実施例に係る三次元像表示装置1の照明光学系及び空間光変調素子30を説明するための図である。この図に示されたように、照明光源部10に含まれる青色の点光源はレンズ20の光軸上に配置されており、この青色の点光源から出力された照明光成分は、レンズ20によりコリメートされて、平行平面波60_bとされ、空間光変調素子30に垂直入射する。赤色の点光源はレンズ20の光軸から離間した位置に配置されており、この赤色の点光源から出力された照明光成分は、レンズ20によりコリメートされて、z軸に対して傾斜した方向61_rに進む平行平面波60_rとされ、空間光変調素子30に斜め入射する。緑色の点光源は、赤色の点光源と同様に配置される。20

【0067】 図3は、第1実施例に係る三次元像表示装置1の照明光学系を説明するための図である。この図に示されたように、照明光源部10は、出力波長が互いに異なる3つの単色光源11_r、11_g、11_bと、3つのピンホール12_r、12_g、12_bとを含む。ピンホール12_rは、赤色の光を出力する単色光源11_r25

に近接して位置 $R(x_r, 0)$ に設けられ、この単色光源 11_r から出力された光をレンズ 20 へ出力する。ピンホール 12_g は、緑色の光を出力する単色光源 11_g に近接して位置 $G(x_g, 0)$ に設けられ、この単色光源 11_g から出力された光をレンズ 20 へ出力する。ピンホール 12_b は、青色の光を出力する単色光源 11_b に近接して位置 $B(0, 0)$ に設けられ、この単色光源 11_b から出力された光をレンズ 20 へ出力する。このように構成することにより、単色光源 11_r 、 11_g 、 11_b それぞれが点光源として扱えない場合であっても、ピンホール 12_r 、 12_g 、 12_b それぞれから出力される照明光成分は、点光源から出射された光として扱うことができ、そして、レンズ 20 により理想的な平行平面波を得ることができる。

【0068】 次に、第1実施例に係る三次元像表示装置1の動作について説明する。空間光変調素子30として振幅及び位相の双方を画素毎に変調することができる素子が適用された場合、透過光及び共役像が発生しない。しかしながら、空間光変調素子30として振幅及び位相の何れか一方のみを画素毎に変調することができる素子が適用された場合、透過光及び共役像が発生する。以下では、後者の場合について説明する。

【0069】 図4は、第1実施例に係る三次元像表示装置1において空間光変調素子30へ青色の照明光成分が垂直入射したときの三次元像の一輝点の表示動作を説明するための図である。図5は、第1実施例に係る三次元像表示装置1において空間光変調素子30へ青色の照明光成分が垂直入射するときに空間光変調素子30に呈示されるホログラムを説明するための図である。青色の照明光成分に関連するホログラム31_bが空間光変調素子30に呈示されているときに、平行平面波60_bとされた青色の照明光成分が空間光変調素子30に垂直入射する。青色の照明光成分に関連するホログラム31_bは、空間光変調素子30の半平面($y < 0$ の領域)に呈示される。照明光成分が空間光変調素子30に入射することにより、三次元像の輝点の再生像62_b及び共役像63_bが光軸上に形成され、

また、0次透過光が発生する。輝点の再生像62_bは、レンズ40によりマスク50上の領域52_b ($y < 0$ の領域)に波面変換される。一方、輝点の共役像63_bは、レンズ40によりマスク50上の領域53_b ($y > 0$ の領域)に波面変換される。また、0次透過光は、レンズ40によりマスク50上の位置(0, 0)に集光される。そして、共役像及び0次透過光がマスク50により遮断され、再生像のみが開口部51を通過して観察され得る。

【0070】 図6は、第1実施例に係る三次元像表示装置1において空間光変調素子30へ照明光成分が斜め入射したときの三次元像の一輝点の表示動作を説明するための図である。このとき、空間光変調素子30に呈示されるホログラムは、図5に示されたホログラムと同様であるとする。この場合、平行平面波60とされた照明光成分が空間光変調素子30に斜め入射し、三次元像の輝点の再生像62及び共役像63が平行平面波60の光軸61上に形成される。これは、図4に示された再生像及び共役像の形成位置とは異なる。

【0071】 そこで、本実施例では、垂直入射時と斜め入射時との間の再生像の不一致を回避するため、斜め入射時に空間光変調素子30に呈示されるホログラムは、以下に説明する2つの方法の何れかにより作成される。

【0072】 第1のホログラム作成方法は、斜め入射時のホログラムを計算する方法である。三次元像を構成する1輝点からの物体光成分は球面波で表される。位置(x_0, y_0, L_0)にある輝点から発生した物体光成分 O_{ij} は、空間光変調素子30上の位置($x_i, y_j, 0$)において、以下の式(1a)、(1b)で表される。

$$O_{i,j} = \frac{1}{r} \exp(jkr) \quad \cdots (1a)$$

$$r = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2 + L_0^2} \quad \cdots (1b)$$

【0073】 ここで、 r は位置(x_0, y_0, L_0)にある輝点から空間光変調素子30上の位置($x_i, y_j, 0$)までの距離であり、 k は物体光成分の波数である。また、入射角 θ の平行平面波である参照光成分 R_{ij} は、空間光変調素子30上の

位置 $(x_i, y_j, 0)$ において、以下の式 (2) で表される。

$$R_{i,j} = \exp(jk(L_0 - (x_i - x_0)\sin\theta)) \quad \dots (2)$$

【0074】 ホログラム面上における物体光成分と参照光成分との合成を以下の式 (3) で表すと、ホログラム面上の位置 $(x_i, y_j, 0)$ において、光の位相 $\phi_{i,j}$ は、以下の式 (4) で表され、さらに光強度は、以下の式 (5) で表される。

$$O_{i,j} + R_{i,j} = A + jB \quad \dots (3)$$

$$\phi_{i,j} = \tan^{-1}(B/A) \quad \dots (4)$$

$$|O_{i,j} + R_{i,j}|^2 = |O_{i,j}|^2 + |R_{i,j}|^2 + O_{i,j}R_{i,j}^* + O_{i,j}^*R_{i,j} \quad \dots (5)$$

【0075】 再生時に空間光変調素子 30 に入射する照明光成分は参照光成分 R と同等であるので、上記式 (5) の右辺の第 3 項より計算機ホログラムが作成される。

【0076】 計算機ホログラムの計算範囲については、ホログラムが表示される空間光変調素子 30 が離散的画素構造を有していることから、ホログラムの最大空間周波数は空間光変調素子 30 の画素ピッチにより制限される。このことから、計算範囲は、隣接 2 画素において物体光成分と参照光成分との合成波面の位相差が π 以下である範囲、すなわち、以下の式 (6a)、(6b) で表される条件を満たす領域より決定される半平面となる。

$$|\phi_{i,j} - \phi_{i-1,j}| \leq \pi \quad \dots (6a)$$

$$|\phi_{i,j} - \phi_{i,j-1}| \leq \pi \quad \dots (6b)$$

【0077】 図 7 及び図 8 それぞれは、第 1 のホログラム作成方法により作成されたホログラムを説明するための図である。図 7 は、点光源が位置 $(0, y)$

にあるときの空間光変調素子 30 におけるホログラム 31 の呈示範囲を示す。図 8 は、点光源が位置 (x, 0) にあるときの空間光変調素子 30 におけるホログラム 31 の呈示範囲を示す。これらの図に示されたように、空間光変調素子 30 に呈示されるホログラム 31 は、図 5 に示されたホログラム 31_b を x 軸又は y 軸に平行に移動したものと類似している。

【0078】 図 9 は、図 7 に示されたホログラム 31 が空間光変調素子 30 に呈示されたときに空間光変調素子 30 へ照明光成分が斜め入射したときの三次元像の一輝点の表示動作を説明するための図である。この図に示されたように、平行平面波 60 とされた照明光成分が空間光変調素子 30 に斜め入射したときに、三次元像の輝点の再生像 62 が光軸 61 上に形成される。これは、図 4 に示された再生像の形成位置と一致する。

【0079】 第 2 のホログラム作成方法は、ホログラム呈示範囲を平行移動する方法である。上述の第 1 のホログラム作成方法では、参照光成分が斜め入射であることから、ホログラムの計算の際に物体光成分と参照光成分との積を計算する必要があり、参照光成分が垂直入射する場合と比較して計算時間が長い。これに対して、これから説明する第 2 のホログラム作成方法では、上述したように斜め入射時と垂直入射時とでホログラムが類似していることを利用して、短時間にホログラムを計算することができる。

【0080】 図 10 は、第 2 のホログラム作成方法を説明するための図である。空間光変調素子 30 に呈示されるホログラムが図 5 に示されたホログラムと同様であるとすると、これにより生じる輝点 62' の形成位置は、所望の輝点 62 の形成位置より、x 軸方向に距離 D だけ離れている。したがって、この距離 D だけホログラムの呈示位置を平行移動すればよい。この平行移動量 D は、以下の式 (7) で表される。

$$D = L \cdot \tan \theta \quad \dots (7)$$

【0081】 ここで、L は輝点とホログラム面との間の距離である。また、 θ

は、ホログラム面への平行平面波の入射角であり、この入射角 θ は、以下の式 (8) で表される。

$$\theta = \frac{\text{光源と光軸との間の距離}}{\text{レンズ 20 の前焦点距離}} \quad \dots (8)$$

【0082】 以上に説明した第1又は第2のホログラム作成方法により、斜め入射時と垂直入射時とでズレが無い再生像が得られる。

【0083】 次に、各波長の照明光成分の入射により空間光変調素子 30 から発生する再生光成分について説明する。

【0084】 図11～図15は、比較例として示された理想的な場合について説明するための図である。空間光変調素子 30 としては振幅及び位相の何れか一方のみを画素毎に変調することができる素子が適用され、図5に示されたように空間光変調素子 30 の半平面 ($y < 0$) にホログラムが呈示されるものとして、図11に示されたように3波長の点光源の全てが位置 (0, 0) に配置されている理想的な場合を想定する。

【0085】 この場合、図12に示されたように、空間光変調素子 30 から発生した最長波長の赤色の再生光成分の0次回折波は、レンズ40により、レンズ40の後焦点面上において、以下の式 (9) で表される4点 R1～R4 で囲まれる矩形領域 52_r に波面変換される。

$$\begin{aligned} R1(-\lambda_r f / 2P_x, 0) \\ R2(-\lambda_r f / 2P_x, -\lambda_r f / 2P_y) \\ R3(+\lambda_r f / 2P_x, -\lambda_r f / 2P_y) \\ R4(+\lambda_r f / 2P_x, 0) \end{aligned} \quad \dots (9)$$

【0086】 ここで、 λ_r は赤色の再生光成分の波長であり、 f はレンズ40の焦点距離であり、 P_x は空間光変調素子 30 の x 軸方向の画素ピッチであり、 P_y は空間光変調素子 30 の y 軸方向の画素ピッチである。なお、赤色の共役像は、レンズ40の後焦点面上において、以下の式 (10) で表される4点 R1 及び R4～R6 で囲まれる矩形領域に波面変換される。

$$\begin{aligned}
 &R1(-\lambda_r f / 2P_x, 0) \\
 &R4(+\lambda_r f / 2P_x, 0) \\
 &R5(+\lambda_r f / 2P_x, +\lambda_r f / 2P_y) \\
 &R6(-\lambda_r f / 2P_x, +\lambda_r f / 2P_y)
 \end{aligned} \quad \dots (10)$$

【0087】そして、4点R2, R3, R5及びR6で囲まれる矩形領域を1単位として、0次及び高次の再生像及び共役像がレンズ40の後焦点面上において二次元的に周期的に形成される。

- 5 【0088】同様に、図13に示されるように、空間光変調素子30から発生した波長 λ_g の緑色の再生光成分の0次回折波は、レンズ40により、レンズ40の後焦点面上において、以下の式(11)で表される4点G1～G4で囲まれる矩形領域52_gに波面変換される。

$$\begin{aligned}
 &G1(-\lambda_g f / 2P_x, 0) \\
 &G2(-\lambda_g f / 2P_x, -\lambda_g f / 2P_y) \\
 &G3(+\lambda_g f / 2P_x, -\lambda_g f / 2P_y) \\
 &G4(+\lambda_g f / 2P_x, 0)
 \end{aligned} \quad \dots (11)$$

- 10 【0089】また、図14に示されたように、空間光変調素子30から発生した最短波長 λ_b の青色の再生光成分の0次回折波は、レンズ40により、レンズ40の後焦点面上において、以下の式(12)で表される4点B1～B4で囲まれる矩形領域52_bに波面変換される。

$$\begin{aligned}
 &B1(-\lambda_b f / 2P_x, 0) \\
 &B2(-\lambda_b f / 2P_x, -\lambda_b f / 2P_y) \\
 &B3(+\lambda_b f / 2P_x, -\lambda_b f / 2P_y) \\
 &B4(+\lambda_b f / 2P_x, 0)
 \end{aligned} \quad \dots (12)$$

- 15 【0090】そして、図15に示されたように、レンズ40の後焦点面上における波面変換領域52_r、52_g及び52_bを重ねて表すと、赤色の波面変換領域52_rの中に緑色の波面変換領域52_gが含まれ、緑色の波面変換領域52_gの中に

青色の波面変換領域 52b が含まれる。したがって、マスク 50 の開口部 51 を青色の波面変換領域 52b と同等のものとするることにより、この開口部 52 を通過した各色の再生光成分を観察することで、フルカラーの三次元像を観察することができる。

5 【0091】 しかし、図 11 に示されたような 3 つの点光源が共通の位置に配置される理想的な場合は実際には有り得ない。そこで、本実施例では、3 つの点光源を互いに異なる位置に配置して、そのうちの 1 波長の照明光成分を空間光変調素子 30 に垂直入射させ、他の 2 つの波長の照明光成分を空間光変調素子 30 に斜め入射させる。

10 【0092】 図 16 ～図 19 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 及び三次元像表示方法について説明する図である。図 16 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の照明光源部 10 における 3 つの点光源それぞれの配置を示す図である。図 17 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 のマスク 50 配置位置における赤色の再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域を示す図である。図 18 は、
15 第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 のマスク 50 配置位置における緑色の再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域を示す図である。第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 のマスク 50 配置位置における青色の再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域は、図 14 に示された場合と同様である。図 19 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 のマスク 50 配置位置における赤色、緑色及び青色それぞれの再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域を示す図である。
20

【0093】 第 1 実施例では、図 16 に示されたように、赤色の点光源が位置 $R(x_r, 0)$ に配置され、緑色の点光源が位置 $G(x_g, 0)$ に配置され、青色の点光源が位置 $B(0, 0)$ に配置される。ここで、 x_r 及び x_g それぞれは、以下の式 (13) で表される。

$$\begin{aligned}
 x_r &= +\{(\lambda_g f / 2P) - (\lambda_b f / 2P)\} / M \\
 x_g &= -\{(\lambda_g f / 2P) - (\lambda_b f / 2P)\} / M \quad \cdots (13) \\
 M &= -f_2 / f_1
 \end{aligned}$$

【0094】 ここで、 f_1 はレンズ20の焦点距離であり、 f_2 はレンズ40の焦点距離である。 M は光学系の倍率である。

【0095】 この場合、図17に示されたように、空間光変調素子30から発生した赤色の再生光成分の0次回折波は、レンズ40により、レンズ40の後焦点面上において、位置 $R'(\lambda_g f / 2P - \lambda_b f / 2P, 0)$ を基準とした矩形領域52_rに波面変換される。また、図18に示されたように、空間光変調素子30から発生した緑色の再生光成分の0次回折波は、レンズ40により、レンズ40の後焦点面上において、位置 $G'(-\lambda_g f / 2P + \lambda_b f / 2P, 0)$ を基準とした矩形領域52_gに波面変換される。また、図14に示されたように、空間光変調素子30から発生した青色の再生光成分の0次回折波は、レンズ40により、レンズ40の後焦点面上において、位置 $B'(0, 0)$ を基準とした矩形領域52_bに波面変換される。

【0096】 そして、図19に示されたように、レンズ40の後焦点面上における波面変換領域52_r、52_g及び52_bを重ねて表すと、赤色の波面変換領域52_rの中に緑色の波面変換領域52_gが含まれ、緑色の波面変換領域52_gの中に青色の波面変換領域52_bが含まれる。したがって、マスク50の開口部51を青色の波面変換領域52_bに一致させることにより、この開口部52を通過した各色の再生光成分を観察することで、フルカラーの三次元像を観察することができる。

【0097】 次に、第1実施例の具体例について説明する。空間光変調素子30としてソニー社製のデータプロジェクション用液晶パネルLCX023AL（画素ピッチ $P = 26 \mu\text{m}$ ）を用いた。レンズ20として色収差補正された焦点距離600mmのレンズを用い、レンズ40として色収差補正された焦点距離1

50 mmのレンズを用いた。赤色光を出力する単色光源 11_r としてシチズン電子社製の発光ダイオード CL-280SR-C (波長 650 nm、寸法 1.0(L)×0.5(W)×0.6(H)) を用いた。緑色光を出力する単色光源 11_g として豊田合成社製の発光ダイオード E1S07-AG1A7-02 (波長 530 nm、寸法 1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)) を用いた。青色光を出力する単色光源 11_b として豊田合成社製の発光ダイオード E1S07-AB1A7-02 (波長 470 nm、寸法 1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)) を用いた。

【0098】 また、赤色光を出力する単色光源 11_r を位置 (-0.69 mm, 0) に配置し、緑色光を出力する単色光源 11_g を位置 (+0.69 mm, 0) に配置した。ピンホール 12_r 、 12_g 、 12_b それぞれの開口径を 150 μ m とした。空間光変調素子 30 へ入射される赤色の照明光成分の入射角を +0.07° とし、空間光変調素子 30 へ入射される緑色の照明光成分の入射角を -0.07° とした。マスク 50 の開口部 51 の寸法を 2.7 mm(W)×1.3 mm(H) とした。そして、空間光変調素子 30 の駆動周波数を 70 Hz とし、各色 (波長) に関連したホログラムを空間光変調素子 30 に順次呈示させるとともに、これと同期して 3 つの単色光源 11_r 、 11_g 、 11_b を順次発光させることにより、マスク 50 の開口部 51 を介してフルカラーの三次元像を鮮明に観察することができた。

【0099】 次に、第 1 実施例に係る三次元像表示装置及び三次元像表示方法の変形例 A について説明する。これまでの説明では 3 つの点光源が x 軸方向に配列されていたが、この変形例 A では 3 つの点光源が y 軸方向に配列されている。図 20～図 23 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 及び三次元像表示方法の変形例 A について説明する図である。図 20 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の変形例 A の照明光源部 10 における 3 つの点光源それぞれの配置を示す図である。図 21 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の変形例 A において、マスク 50 配置位置における赤色の再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域を示す図である。図 22 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の変形例 A に

において、マスク 50 配置位置における緑色の再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域を示す図である。第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の変形例 A において、マスク 50 配置位置における青色の再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域は、図 1 4 に示された場合と同様である。図 2 3 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の変形例 A において、マスク 50 配置位置における赤色、緑色及び青色それぞれの再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域を示す図である。

【0100】 この変形例 A では、図 2 0 に示されたように、赤色の点光源が位置 R (0, y_r) に配置され、緑色の点光源が位置 G (0, y_g) に配置され、青色の点光源が位置 B (0, 0) に配置される。ここで、 y_r 及び y_g それぞれは、以下の式 (14) で表される。

$$\begin{aligned} y_r &= \{(\lambda_r f / 2P) - (\lambda_b f / 2P)\} / M \\ y_g &= \{(\lambda_g f / 2P) - (\lambda_b f / 2P)\} / M \end{aligned} \quad \dots (14)$$

【0101】 この場合、図 2 1 に示されたように、空間光変調素子 30 から発生した赤色の再生光成分の 0 次回折波は、レンズ 40 により、レンズ 40 の後焦点面上において、位置 R' (0, $\lambda_r f / 2P - \lambda_b f / 2P$, 0) を基準とした矩形領域 52_r に波面変換される。また、図 2 2 に示されたように、空間光変調素子 30 から発生した緑色の再生光成分の 0 次回折波は、レンズ 40 により、レンズ 40 の後焦点面上において、位置 G' (0, $\lambda_g f / 2P - \lambda_b f / 2P$, 0) を基準とした矩形領域 52_g に波面変換される。また、図 1 4 に示されたように、空間光変調素子 30 から発生した青色の再生光成分の 0 次回折波は、レンズ 40 により、レンズ 40 の後焦点面上において、位置 B' (0, 0) を基準とした矩形領域 52_b に波面変換される。

【0102】 そして、図 2 3 に示されたように、レンズ 40 の後焦点面上における波面変換領域 52_r、52_g 及び 52_b を重ねて表すと、赤色の波面変換領域 52_r の中に緑色の波面変換領域 52_g が含まれ、緑色の波面変換領域 52_g の中に青色の波面変換領域 52_b が含まれる。したがって、マスク 50 の開口部 51 を

青色の波面変換領域 52_b に一致させることにより、この開口部 52 を通過した各色の再生光成分を観察することで、フルカラーの三次元像を観察することができる。

【0103】 次に、第1実施例の変形例Aの具体例について説明する。空間光変調素子 30 としてソニー社製のデータプロジェクション用液晶パネル LCX023AL (画素ピッチ $P = 26 \mu\text{m}$) を用いた。レンズ 20 として色収差補正された焦点距離 600 mm のレンズを用い、レンズ 40 として色収差補正された焦点距離 150 mm のレンズを用いた。赤色光を出力する単色光源 11_r としてシチズン電子社製の発光ダイオード CL-280SR-C (波長 650 nm、寸法 1.0(L)×0.5(W)×0.6(H)) を用いた。緑色光を出力する単色光源 11_g として豊田合成社製の発光ダイオード E1S07-AG1A7-02 (波長 530 nm、寸法 1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)) を用いた。青色光を出力する単色光源 11_b として豊田合成社製の発光ダイオード E1S07-AB1A7-02 (波長 470 nm、寸法 1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)) を用いた。

【0104】 また、赤色光を出力する単色光源 11_r を位置 (0, -2.08 mm) に配置し、緑色光を出力する単色光源 11_g を位置 (0, -0.69 mm) に配置した。ピンホール 12_r、12_g、12_b それぞれの開口径を 150 μm とした。空間光変調素子 30 へ入射される赤色の照明光成分の入射角を -0.20° とし、空間光変調素子 30 へ入射される緑色の照明光成分の入射角を -0.07° とした。マスク 50 の開口部 51 の寸法を 2.7 mm(W)×1.3 mm(H) とした。そして、空間光変調素子 30 の駆動周波数を 70 Hz とし、各色 (波長) に関連したホログラムを空間光変調素子 30 に順次呈示させるとともに、これと同期して 3 つの単色光源 11_r、11_g、11_b を順次に発光させることにより、マスク 50 の開口部 51 を通じてフルカラーの三次元像を鮮明に観察することができた。

【0105】 次に、第1実施例に係る三次元像表示装置及び三次元像表示方法の変形例Bについて説明する。前述の変形例Aでは3つの点光源が半平面 (y 0

0) で y 軸方向に配列されていたが、この変形例 B では、赤色の点光源が一方の半平面 ($y \geq 0$) に配置されており、緑色の点光源が他方の半平面 ($y < 0$) に配置されている。図 2 4 ~ 図 2 6 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 及び三次元像表示方法の変形例 B について説明する図である。図 2 4 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の変形例 B において、照明光源部 1 0 における 3 つの点光源それぞれの配置を示す図である。図 2 5 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の変形例 B において、マスク 5 0 配置位置における緑色の再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域を示す図である。第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の変形例 B において、マスク 5 0 配置位置における赤色の再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域は、図 2 1 に示された場合と同様である。第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の変形例 B において、マスク 5 0 配置位置における青色の再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域は、図 1 4 に示された場合と同様である。図 2 6 は、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 の変形例 B において、マスク 5 0 配置位置における赤色、緑色及び青色それぞれの再生光成分の 0 次回折波の波面変換領域を示す図である。

【0106】 この変形例 B では、図 2 4 に示されたように、赤色の点光源が位置 R ($0, y_r$) に配置され、緑色の点光源が位置 G ($0, y_g$) に配置され、青色の点光源が位置 B ($0, 0$) に配置される。ここで、 y_r 及び y_g それぞれは、以下の式 (15) で表される。

$$\begin{aligned} y_r &= \{(\lambda_r f / 2P) - (\lambda_b f / 2P)\} / M \\ y_g &= -(\lambda_b f / 2P) / M \end{aligned} \quad \dots (15)$$

【0107】 この場合、図 2 1 に示されたように、空間光変調素子 3 0 から発生した赤色の再生光成分の 0 次回折波は、レンズ 4 0 により、レンズ 4 0 の後焦点面上において、位置 R' ($0, \lambda_r f / 2P - \lambda_b f / 2P, 0$) を基準として下の矩形領域 5 2_r に波面変換される。また、図 2 5 に示されたように、空間光変調素子 3 0 から発生した緑色の再生光成分の 0 次回折波は、レンズ 4 0 により、レン

ズ40の後焦点面上において、位置 $G'(0, -\lambda_b f / 2P, 0)$ を基準として上の矩形領域52_gに波面変換される。また、図14に示されたように、空間光変調素子30から発生した青色の再生光成分の0次回折波は、レンズ40により、
5 52_bに波面変換される。

【0108】 そして、図26に示されたように、レンズ40の後焦点面上における波面変換領域52_r、52_g及び52_bを重ねて表すと、赤色の波面変換領域52_rの中に緑色の波面変換領域52_gが含まれ、緑色の波面変換領域52_gの中に青色の波面変換領域52_bが含まれる。したがって、マスク50の開口部51を
10 青色の波面変換領域52_bに一致させることにより、この開口部52を通過した各色の再生光成分を観察することで、フルカラーの三次元像を観察することができる。

【0109】 次に、第1実施例の変形例Bの具体例について説明する。空間光変調素子30としてソニー社製のデータプロジェクション用液晶パネルLCX0
15 23AL（画素ピッチ $P=26\mu\text{m}$ ）を用いた。レンズ20として色収差補正された焦点距離200mmのレンズを用い、レンズ40として色収差補正された焦点距離150mmのレンズを用いた。赤色光を出力する単色光源11_rとしてシチズン電子社製の発光ダイオードCL-280SR-C（波長650nm、寸法1.0(L)×0.5(W)×0.6(H)）を用いた。緑色光を出力する単色光源11_gとして豊田合
20 成社製の発光ダイオードE1S07-AG1A7-02（波長530nm、寸法1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)）を用いた。青色光を出力する単色光源11_bとして豊田合成社製の発光ダイオードE1S07-AB1A7-02（波長470nm、寸法1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)）を用いた。

【0110】 また、赤色光を出力する単色光源11_rを位置 $(0, -0.69\text{mm})$ に配置し、緑色光を出力する単色光源11_gを位置 $(0, +1.36\text{mm})$ に配置した。ピンホール12_r、12_g、12_bそれぞれの開口径を150 μm とし

た。空間光変調素子 30 へ入射される赤色の照明光成分の入射角を -0.20° とし、空間光変調素子 30 へ入射される緑色の照明光成分の入射角を $+0.39^\circ$ とした。マスク 50 の開口部 51 の寸法を $2.7\text{ mm(W)} \times 1.3\text{ mm(H)}$ とした。

そして、空間光変調素子 30 の駆動周波数を 70 Hz とし、各色（波長）に関連したホログラムを空間光変調素子 30 に順次呈示させるとともに、これと同期して 3 つの単色光源 11_r 、 11_g 、 11_b を順次発光させることにより、マスク 50 の開口部 51 を介してフルカラーの三次元像を鮮明に観察することができた。

【0111】 以上のように、第 1 実施例に係る三次元像表示装置 1 及び三次元像表示方法は、変形例 A 及び変形例 B をも含めて、空間光変調素子 30 へ入射される 3 波長の照明光成分それぞれの入射方位が適切に設定されていて、空間光変調素子 30 から発生した 3 波長の再生光成分それぞれの 0 次回折波がレンズ 40 により波面変換された後に開口部 51 において互いに重なるので、低解像度の空間光変調素子 30 を用いた場合であっても鮮明に三次元像をカラー表示することができる。また、従来技術 2 の如く 3 波長の再生光成分を重ねあわせるためのハーフミラーが不要になり、第 3 従来技術の如く高速シャッタも不要になるので、小型かつ安価な三次元像表示装置が得られる。

（第 2 実施例）

【0112】 次に、この発明に係る三次元像表示装置及び三次元像表示方法の第 2 実施例について説明する。図 27 は、第 2 実施例に係る三次元像表示装置 2 の構成を示す図である。この図に示された三次元像表示装置 2 は、照明光源部 10、レンズ 20、ハーフミラー 25、反射型の空間光変調素子 30、レンズ 40 及びマスク 50 を備えている。照明光源部 10、レンズ 20 及びハーフミラー 25 は、3 波長の照明光成分それぞれを平行平面波とし互いに異なる入射方位で空間光変調素子 30 に入射させる照明光学系を構成している。ハーフミラー 25 及びレンズ 40 は、空間光変調素子 30 に呈示されたホログラムから発生した 3 波長の再生光成分それぞれを波面変換する再生像変換光学系を構成している。な

お、照明光学系と再生像変換光学系とはハーフミラー 25 を共有している。

【0113】 第1実施例と比較すると、第2実施例に係る三次元像表示装置2
及び三次元像表示方法は、照明光源部10、レンズ20、レンズ40及びマスク
50それぞれが同様であるが、空間光変調素子30が反射型の空間光変調素子で
5 あることに起因して相互の配置が異なる。また、第1実施例と比較すると、第2
実施例に係る三次元像表示装置2の動作及び三次元像表示方法は、照明光成分が
レンズ20により平行平面波とされた後にハーフミラー25を透過して空間光変
調素子30へ入射する点、空間光変調素子30へ照明光成分が入射する側と同一
10 の側に再生光成分が出射する点、及び、その再生光成分がハーフミラー25によ
り反射された後にレンズ40により波面変換される点、で異なる。その他の点で
は、第2実施例に係る三次元像表示装置2の動作及び三次元像表示方法は、第1
実施例（変形例A、Bをも含む）と原理的に同様である。

【0114】 次に、第2実施例の具体例について説明する。空間光変調素子3
0としてMicro Display社製のマイクロモニタ用反射型液晶パネルMD800G
15 6（画素ピッチ $P=12.55\mu\text{m}$ ）を用いた。レンズ20として色収差補正さ
れた焦点距離300mmのレンズを用い、レンズ40として色収差補正された焦
点距離60mmのレンズを用いた。赤色光を出力する単色光源11_rとしてシチズ
ン電子社製の発光ダイオードCL-280SR-C（波長650nm、寸法
1.0(L)×0.5(W)×0.6(H)）を用いた。緑色光を出力する単色光源11_gとして豊田合
20 成社製の発光ダイオードE1S07-AG1A7-02（波長530nm、寸法
1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)）を用いた。青色光を出力する単色光源11_bとして豊田
合成社製の発光ダイオードE1S07-AB1A7-02（波長470nm、寸法
1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)）を用いた。

【0115】 また、赤色光を出力する単色光源11_rを位置（-0.72mm,
25 0）に配置し、緑色光を出力する単色光源11_gを位置（+0.72mm, 0）
に配置した。ピンホール12_r、12_g、12_bそれぞれの開口径を150 μm とし

た。空間光変調素子 30 へ入射される赤色の照明光成分の入射角を -0.14° とし、空間光変調素子 30 へ入射される緑色の照明光成分の入射角を $+0.14^\circ$ とした。マスク 50 の開口部 51 の寸法を $2.2\text{ mm(W)} \times 1.1\text{ mm(H)}$ とした。そして、空間光変調素子 30 の駆動周波数を 90 Hz とし、各色（波長）に関連したホログラムを空間光変調素子 30 に順次呈示させるとともに、これと同期して 3 つの単色光源 11_r、11_g、11_b を順次発光させることにより、マスク 50 の開口部 51 を通じてフルカラーの三次元像を鮮明に観察することができた。

（第 3 実施例）

【0116】 次に、この発明に係る三次元像表示装置及び三次元像表示方法の第 3 実施例について説明する。図 28 は、第 3 実施例に係る三次元像表示装置 3 の構成を示す図である。この図に示された三次元像表示装置 3 は、照明光源部 10、ハーフミラー 25、レンズ 20、反射型の空間光変調素子 30 及びマスク 50 を備えている。照明光源部 10、ハーフミラー 25 及びレンズ 20 は、3 波長の照明光成分それぞれを平行平面波とし互いに異なる入射方位で空間光変調素子 30 に入射させる照明光学系を構成している。レンズ 20 及びハーフミラー 25 は、空間光変調素子 30 に呈示されたホログラムから発生した 3 波長の再生光成分それぞれを波面変換する再生像変換光学系を構成している。なお、照明光学系と再生像変換光学系とは、レンズ 20 及びハーフミラー 25 を共有している。

【0117】 第 2 実施例と比較すると、第 3 実施例に係る三次元像表示装置 3 及び三次元像表示方法は、照明光源部 10、空間光変調素子 30 及びマスク 50 それぞれが同様であるが、空間光変調素子 30 が反射型の空間光変調素子であることに起因して相互の配置が異なる。また、第 2 実施例の場合と比較すると、第 3 実施例に係る三次元像表示装置 3 の動作及び三次元像表示方法は、レンズ 20 がレンズ 40 の作用をも兼ねている点、照明光成分がハーフミラー 25 を透過した後にレンズ 20 により平行平面波とされて空間光変調素子 30 へ入射する点、空間光変調素子 30 へ照明光成分が入射する側と同一の側に再生光成分が出射す

る点、及び、その再生光成分がレンズ20を経た後にハーフミラー25により反射されて波面変換される点、で異なる。その他の点では、第3実施例に係る三次元像表示装置2の動作及び三次元像表示方法は、第2実施例と原理的に殆ど同様である。

5 【0118】 第3実施例では、レンズ20がレンズ40の作用をも兼ねていることから、照明光学系及び再生像変換光学系それぞれの焦点距離が互いに等しい。それ故、3つの点光源が位置R (x_r , 0)、G (x_g , 0)、B (0, 0) に配置されている場合、マスク50面における各色の波面変換領域の基準点は位置R ($-x_r$, 0)、G ($-x_g$, 0)、B (0, 0) となる。そして、図29に示されたように、マスク50面上における各色の波面変換領域52_r、52_g、52_bの全てが重なる領域（すなわち、マスク50の開口部51の領域）は、第1実施例又は第2実施例の場合より狭くなることがある。

10 【0119】 次に、第3実施例の具体例について説明する。空間光変調素子30としてMicro Display社製のマイクロモニタ用反射型液晶パネルMD800G6（画素ピッチ $P=12.55\mu\text{m}$ ）を用いた。レンズ40の作用を兼ねるレンズ20として色収差補正された焦点距離60mmのレンズを用いた。赤色光を出力する単色光源11_rとしてシチズン電子社製の発光ダイオードCL-280SR-C（波長650nm、寸法1.0(L)×0.5(W)×0.6(H)）を用いた。緑色光を出力する単色光源11_gとして豊田合成社製の発光ダイオードE1S07-AG1A7-02（波長530nm、寸法1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)）を用いた。青色光を出力する単色光源11_bとして豊田合成社製の発光ダイオードE1S07-AB1A7-02（波長470nm、寸法1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)）を用いた。

20 【0120】 また、赤色光を出力する単色光源11_rを位置（-0.65mm, 0）に配置し、緑色光を出力する単色光源11_gを位置（+0.65mm, 0）に配置した。ピンホール12_r、12_g、12_bそれぞれの開口径を150 μm とした。空間光変調素子30へ入射される赤色の照明光成分の入射角を-0.62°

とし、空間光変調素子 30 へ入射される緑色の照明光成分の入射角を $+0.62^\circ$ とした。マスク 50 の開口部 51 の寸法を $1.5\text{ mm(W)} \times 1.1\text{ mm(H)}$ とした。そして、空間光変調素子 30 の駆動周波数を 90 Hz とし、各色（波長）に関連したホログラムを空間光変調素子 30 に順次呈示させるとともに、これと同期して 3 つの単色光源 11_r、11_g、11_b を順次に発光させることにより、マスク 50 の開口部 51 を介してフルカラーの三次元像を鮮明に観察することができた。

（第 4 実施例）

【0121】 次に、この発明に係る三次元像表示装置及び三次元像表示方法の第 4 実施例について説明する。図 30 は、第 4 実施例に係る三次元像表示装置 4 の構成を示す図である。この図に示された三次元像表示装置 4 は、照明光源部 10、レンズ 20、透過型の空間光変調素子 30、レンズ 40 及びマスク 50 を備えている。照明光源部 10 及びレンズ 20 は、3 波長の照明光成分それぞれを平行平面波とし互いに異なる入射方位で空間光変調素子 30 に入射させる照明光学系を構成している。また、レンズ 40 は、空間光変調素子 30 に呈示されたホログラムから発生した 3 波長の再生像それぞれを、波面変換して虚像化もしくは実像化する再生像変換光学系を構成している。

【0122】 照明光源部 10 は、互いに異なる波長（赤、緑、青）の照明光成分を出力する 3 つの点光源を有している。これら 3 つの点光源は、 x 軸に平行な直線上の互いに異なる位置に配置されている。最短波長の青色の照明光成分を出力する点光源は、照明光学系の光軸上の位置 $B(0, 0)$ にある。赤色の照明光成分を出力する点光源は位置 $R(x_r, 0)$ 又は $R(0, y_r)$ にある。緑色の照明光成分を出力する点光源は位置 $G(x_g, 0)$ にある。各々の点光源は、例えば発光ダイオードやレーザダイオードなどを含み、単色性が優れた照明光成分を出力する。また、各々の点光源は、時系列に順次にパルス点灯される。この照明光源部 10 の構成は、図 3 と同様であるのが好ましい。

【0123】 レンズ 20 は、 z 軸に平行な光軸を有しており、照明光源部 20

の3つの点光源それぞれから出力された各波長の照明光成分を、コリメートして平行平面波とし、互いに異なる入射方位で空間光変調素子30に入射させる。レンズ20が単一の凸レンズにより構成される場合、3つの点光源それぞれとレンズ20との間の間隔は、レンズ20の焦点距離に等しい。3つの点光源が上記の
5 ように配置されていることから、青色の照明光成分は空間光変調素子30に垂直入射し、赤色及び緑色それぞれの照明光成分は空間光変調素子30に斜め入射する。レンズ20は、各照明光成分の波長に対して同一の焦点距離を有する色収差補正レンズであるのが好ましい。

【0124】 空間光変調素子30は、離散的画素構造を有する透過型の空間光
10 変調素子であり、3波長それぞれに関連したホログラムを時系列に順次呈示する。このホログラムは、振幅ホログラムであってもよいし、位相ホログラムであってもよい。そして、空間光変調素子30は、レンズ20より各波長の照明光成分が時系列に順次入射するのと同期して、各時点の波長に関連したホログラムを順次呈示し、これにより、各波長の再生光成分を時系列に順次出射する。すなわち、
15 この空間光変調素子30には、フィールドシーケンシャル方式が採用されている。

【0125】 レンズ40は、空間光変調素子30に呈示されたホログラムから発生した3波長の再生光成分それぞれをマスク50の面上に波面変換する。レンズ40が単一の凸レンズにより構成される場合、レンズ40とマスク50との間の間隔は、レンズ40の焦点距離に等しい。レンズ40は、各照明光成分の波長
20 に対して同一の焦点距離を有する色収差補正レンズであるのが好ましい。

【0126】 マスク50は、レンズ40の焦点面に設けられており、開口部51を有している。この開口部51は、各辺がx軸又はy軸に概略平行な矩形形状を有し、空間光変調素子30から発生する特定の次数の回折波のみを選別する機能と、空間光変調素子30の第n次の直接透過光を遮断する機能と、さらに空間
25 光変調素子30に呈示されたホログラムから発生した第n次の回折波の成分で実像もしくは共役像を形成し二重像の問題を生じる不要な光を遮断する機能とを有

する。なお、空間光変調素子 30 の第 n 次の直接透過光がレンズ 40 により集光され光源の結像に寄与する光であって再生像の背景光となりコントラストを低下させる。開口部 51 は、3 波長の再生光成分のうち何れかの次数の回折波がレンズ 40 により波面変換された後に互いに重なる領域に設けられている。特に、本実施例では、開口部 51 は、最短波長の青色の再生光成分の 0 次回折波と他の 2 波長の再生光成分の高次回折波とがレンズ 40 により波面変換されて互いに重なる領域に設けられている。このように、空間光変調素子 30 へ入射される 3 波長の照明光成分それぞれの入射方位が照明光学系により設定されている。

【0127】 照明光源部 10 の位置 $B(0, 0)$ にある青色の点光源から出力された照明光成分のうち空間光変調素子 30 を透過した 0 次透過光は、レンズ 40 によりマスク 50 面上の位置 $B'(0, 0)$ に集光される。照明光源部 10 の位置 $R(x_r, 0)$ 又は $R(0, y_r)$ にある赤色の点光源から出力された照明光成分のうち空間光変調素子 30 を透過した 0 次透過光は、レンズ 40 によりマスク 50 面上の位置 $R'(x_r', 0)$ 又は $R'(0, y_r')$ に集光される。照明光源部 10 の位置 $G(x_g, 0)$ にある青色の点光源から出力された照明光成分のうち空間光変調素子 30 を透過した 0 次透過光は、レンズ 40 によりマスク 50 面上の位置 $G'(x_g', 0)$ に集光される。

【0128】 しかしながら、空間光変調素子 30 が離散的画素構造を有していることから、図 31 又は図 32 に示されたように、マスク 50 面上において、青色の点光源の結像は、位置 G_1 に 0 次回折波の波面変換が得られるだけでなく、この位置 G_1 に対して x 軸又は y 軸の方向に関して距離 $(\lambda_b f / P)$ だけ離れた 8 つの位置 G_2 それぞれに 1 次回折波の波面変換が得られ、さらに x 軸又は y 軸の方向に関して距離 $(\lambda_b f / P)$ ずつだけ離れた位置に更に高次の回折波の波面変換が得られる。赤色及び緑色それぞれの点光源の結像についても同様である。このことについて、図 33 を用いて詳細に説明する。

【0129】 図 33 は、第 4 実施例に係る三次元像表示装置 4 の空間光変調素

子 3 0 及び再生像変換光学系を説明するための図である。空間光変調素子 3 0 の画素ピッチを P とし、空間光変調素子 3 0 に垂直入射する青色の照明光成分の波長を λ_b とし、空間光変調素子 3 0 から出射する青色の回折波の次数を n_b とし、空間光変調素子 3 0 からの青色の n_b 次の回折波の出射角を θ_o とする。

- 5 【0130】 このとき、これらのパラメータの間に、以下の式 (16) で与えられる関係が成立する。

$$P \sin \theta_o = n_b \lambda_b \quad \dots (16)$$

【0131】 この式 (16) から、空間光変調素子 3 0 からの青色の n_b 次の回折波の出射角 θ_o は、以下の式 (17) で表される。

10
$$\theta_o = \sin^{-1}(n_b \lambda_b / P) \quad \dots (17)$$

【0132】 空間光変調素子 3 0 からの青色の n_b 次の回折波は、レンズ 4 0 の後焦点面 (マスク 5 0 面) 上において、光軸から距離 A_n だけ離れた位置に集光される。この距離 A_n は、以下の式 (18) で表される。

15
$$\begin{aligned} A_n &= f_2 \tan \theta_o \\ &= f_2 \tan \{ \sin^{-1}(n_b \lambda_b / P) \} \\ &= f_2 \sin \{ \sin^{-1}(n_b \lambda_b / P) \} / \cos \{ \sin^{-1}(n_b \lambda_b / P) \} \\ &= (f_2 n_b \lambda_b / P) \cos \{ \sin^{-1}(n_b \lambda_b / P) \} \end{aligned} \quad \dots (18)$$

【0133】 次数 n_b が小さいとき、この式 (18) は、以下の式 (19) で近似される。

20
$$A_n = f_2 n_b \lambda_b / P \quad \dots (19)$$

【0134】 これら式 (18) 又は式 (19) から分かるように、レンズ 4 0 の後焦点面 (マスク 5 0 面) 上において、0 次及び高次の回折波それぞれの集光点は略等間隔で出現し、その各次数の回折波の集光点の出現間隔は波長により異

なる。また、照明光源部 10 における各波長の点光源が同一位置に存在する場合、レンズ 40 の後焦点面（マスク 50 面）上において、各波長の再生光成分の 0 次回折波の集光点は同一位置に出現するが、各波長の再生光成分の高次回折波の集光点は異なる位置に出現する。

5 【0135】 三次元再生像を構成する回折波を取り出すためには、上記式（18）又は式（19）で表される位置を基準とする開口部 51 を有するマスク 50 を利用し、再生光成分のうち何れかの次数の回折波のみを開口部 51 を通過させる。空間光変調素子 30 が振幅及び位相の双方を変調することができる場合、上記式（18）又は式（19）で表される位置を中心として、一辺の長さが $f_2 \lambda_b$
10 $/P$ である矩形形状の開口部 51 を配置することで、三次元再生像を構成する回折波を取り出すことができる。空間光変調素子 30 が振幅及び位相のうち何れか一方のみを変調することができる場合、上記式（18）又は式（19）で表される位置を基準とする半平面（空間光変調素子 30 上のホログラム呈示領域に対応する領域）に、一方の辺の長さが $f_2 \lambda_b / P$ であって他方の辺の長さが $f_2 \lambda_b / 2$
15 P である矩形形状の開口部 51 を配置することで、三次元再生像を構成する回折波を取り出すことができる。

20 【0136】 本実施例では、マスク 50 の開口部 51 は、その領域が波長毎に時分割で制御されるのではなく、波長によらず一定とされる。そこで、3 波長（ λ_r , λ_g , λ_b ）のうち最短波長である λ_b に適合した位置と形状とを有するマスク 51 を配置する。また、他の 2 波長（ λ_r , λ_g ）については、再生光成分のうち何れかの次数の回折波が開口部 51 を通過するように、空間光変調素子 30 への照明光成分の入射方位が設定される。また、空間光変調素子 30 が振幅及び位相のうち何れか一方のみを変調することができる場合には、各波長の再生光成分のうち三次元像構成に利用される次数の再生波の集光点を一致させて、これらの集光点をマ
25 スク 50 により遮断する。なお、レンズ 20、40 は、色収差が十分に補正され 3 波長（ λ_r , λ_g , λ_b ）それぞれで焦点距離が互いに等しいレンズが適している。

【0137】 空間光変調素子30に対して青色の照明光成分は垂直入射するが、他の赤色及び緑色の照明光成分それぞれは斜め入射する。青色の照明光成分が垂直入射したときの0次回折波の集光点と、他の色の照明光成分が斜め入射したときの特定次数の高次回折波の集光点とは、レンズ40の後焦点面上で一致しなければならない。以下では、そのような条件をみたす照明光成分の入射角について図34を用いて説明する。

【0138】 図34は、第4実施例に係る三次元像表示装置4の空間光変調素子30における照明光成分入射角と再生光成分出射角との関係を説明するための図である。最短波長 λ_b 以外の他の何れかの波長 λ_i ($=\lambda_r$ 又は λ_g) の平行平面波が入射角 θ_i で空間光変調素子30に入射して、波長 λ_i の再生光成分のうち次数 n_i の回折波が回折角 θ_o (青色の回折波と同じ) で空間光変調素子30より出射するものとする。また、空間光変調素子30の画素ピッチを P とする。

【0139】 このとき、これらのパラメータの間に、以下の式(20)で与えられる関係が成立する。

$$P \sin \theta_o - P \sin \theta_i = n_i \lambda_i \quad \dots (20)$$

【0140】 これを入射角 θ_i についての式に書き直すと、以下の式(21)で表される。

$$\theta_i = \sin^{-1} \{ (P \sin \theta_o - n_i \lambda_i) / P \} \quad \dots (21)$$

【0141】 この式(21)は、上記式(17)を代入することで、以下の式(22)で表される。

$$\theta_i = \sin^{-1} \{ (n_b \lambda_b - n_i \lambda_i) / P \} \quad \dots (22)$$

【0142】 波長 λ_b の青色の照明光成分が空間光変調素子30に垂直入射するとともに、上記式(22)で表される入射角 θ_i で波長 λ_i ($=\lambda_r$ 又は λ_g) の照明光

成分が空間光変調素子 30 に斜め入射すると、各波長の再生光成分の何れかの次数の回折波は、同一の回折角 θ_0 で空間光変調素子 30 から出射され、同一の点にレンズ 40 により集光される。

【0143】 また、上記式 (20) から、入射角 θ_i と出射角 θ_0 とが互いに等しくなるのは、回折次数 n_i が 0 次であるときであり、その 0 次回折波は、レンズ 40 の後焦点面上で、以下の式 (23) で表される距離 A_{ni} だけ光軸から離れた位置に集光される。

$$\begin{aligned} A_{ni} &= f_2 \tan \theta_i \\ &= f_2 \tan \left[\sin^{-1} \left\{ (n_b \lambda_b - n_i \lambda_i) / P \right\} \right] \\ &= f_2 \tan \left[\sin^{-1} \{ n_b \lambda_b / P \} \right] \\ &= f_2 (n_b \lambda_b / P) / \cos^{-1} \{ \sin(n_b \lambda_b / P) \} \end{aligned} \quad \dots (23)$$

距離 A_{ni} に関する第 1 例として、青色の波長 λ_b の回折波の次数 n_b が 0 であって、他の波長 λ_i の回折波の次数 n_i が -1 であるとする。このとき、波長 λ_i の照明光成分の入射角 θ_i は、以下の式 (24) で表される。

$$\theta_i = \sin^{-1} (\lambda_i / P) \quad \dots (24)$$

【0144】 また、波長 λ_i の 0 次回折波は、レンズ 40 の後焦点面上で、以下の式 (25) で表される距離 A_{-1} だけ光軸から離れた位置に集光される。

$$\begin{aligned} A_{-1} &= f_2 \tan \theta_i \\ &= f_2 \tan \left[\sin^{-1} (\lambda_i / P) \right] \\ &\cong f_2 \lambda_i / P \end{aligned} \quad \dots (25)$$

【0145】 また、距離 A_{ni} に関する第 2 例として、青色の波長 λ_b の回折波の次数 n_b が 0 であって、他の波長 λ_i の回折波の次数 n_i が +1 であるとする。このとき、波長 λ_i の照明光成分の入射角 θ_i は、以下の式 (26) で表される。

$$\theta_i = \sin^{-1} (-\lambda_i / P) \quad \dots (26)$$

【0146】 また、波長 λ_i の 0 次回折波は、レンズ 40 の後焦点面上で、以下の式 (27) で表される距離 A_{+1} だけ光軸から離れた位置に集光される。

$$\begin{aligned} A_{-1} &= f_2 \tan \theta_i \\ &= f_2 \tan \left[\sin^{-1}(-\lambda_i / P) \right] \quad \dots (27) \\ &\cong -f_2 \lambda_i / P \end{aligned}$$

5 【0147】 波長 λ_i の照明光成分を平行平面波として空間光変調素子 30 へ入射角 θ_i で入射させるには、焦点距離 f_1 のレンズ 20 の前焦点面において、以下の式 (28) で表される距離 B_{ni} だけ光軸から離れた位置に点光源を配置すればよい。

$$\begin{aligned} B_{ni} &= -f_1 \tan \theta_i \\ &= -f_1 \tan \left[\sin^{-1} \{ (n_b \lambda_b - n_i \lambda_i) / P \} \right] \quad \dots (28) \end{aligned}$$

10 【0148】 距離 B_{ni} に関する第 1 の例として、青色の波長 λ_b の回折波の次数 n_b が 0 であって、他の波長 λ_i の回折波の次数 n_i が -1 であるとする。このとき、波長 λ_i の点光源は、レンズ 20 の前焦点面上で、以下の式 (29) で表される距離 B_{-1} だけ光軸から離れた位置に配置される。

$$\begin{aligned} B_{-1} &= -f_1 \tan \theta_i \\ &= -f_1 \tan \left[\sin^{-1}(\lambda_i / P) \right] \quad \dots (29) \\ &\cong -f_1 \lambda_i / P \\ &= A_{-1} / M \end{aligned}$$

【0149】 ここで、M は、(13) 式で表される光学系の倍率である。

15 【0150】 また、距離 B_{ni} に関する第 2 の例として、青色の波長 λ_b の回折波の次数 n_b が 0 であって、他の波長 λ_i の回折波の次数 n_i が +1 であるとする。このとき、波長 λ_i の点光源は、レンズ 20 の前焦点面上で、以下の式 (30) で表される距離 B_{+1} だけ光軸から離れた位置に配置される。

$$\begin{aligned}
 B_{+1} &= -f_1 \tan \theta_i \\
 &= -f_1 \tan [\sin^{-1}(-\lambda_r / P)] \\
 &\cong f_1 \lambda_r / P \\
 &= -A_{-1} / M
 \end{aligned}
 \quad \dots (30)$$

【0151】 図31は、レンズ20の前焦点面上で、赤色の点光源を位置（ $-f_1 \lambda_r / P$, 0）に配置し、緑色の点光源を位置（ $+f_1 \lambda_g / P$, 0）に配置し、青色の点光源を位置（0, 0）に配置して、レンズ40の後焦点面上で、赤色の再生光成分のうちの-1次回折波、緑色の再生光成分のうちの+1次回折波、及び、青色の再生光成分のうちの0次回折波について、各々の集光点が光軸上で一致するようにした例である。図32は、レンズ20の前焦点面上で、赤色の点光源を位置（0, $-f_1 \lambda_r / P$ ）に配置し、緑色の点光源を位置（ $+f_1 \lambda_g / P$, 0）に配置し、青色の点光源を位置（0, 0）に配置して、レンズ40の後焦点面上で、赤色の再生光成分のうちの-1次回折波、緑色の再生光成分のうちの+1次回折波、及び、青色の再生光成分のうちの0次回折波について、各々の集光点が光軸上で一致するようにした例である。

【0152】 空間光変調素子30に呈示される各色に関連するホログラムは、各色の照明光成分が空間光変調素子30に垂直入射したときのホログラムであり、第1実施例で説明したような入射角についての配慮は不要であるから、簡便かつ高速に計算することができる。

【0153】 次に、第4実施例の具体例について説明する。空間光変調素子30としてソニー社製のデータプロジェクション用液晶パネルLCX023AL（画素ピッチ $P = 26 \mu\text{m}$ ）を用いた。レンズ20として色収差補正された焦点距離150mmのレンズを用い、レンズ40として色収差補正された焦点距離150mmのレンズを用いた。赤色光を出力する単色光源11_rとしてシチズン電子社製の発光ダイオードCL-280SR-C（波長650nm、寸法1.0(L)×0.5(W)×0.6(H)）を用いた。緑色光を出力する単色光源11_gとして豊田合

成社製の発光ダイオードE1S07・AG1A7・02（波長530nm、寸法1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)）を用いた。青色光を出力する単色光源11_bとして豊田合成社製の発光ダイオードE1S07・AB1A7・02（波長470nm、寸法1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)）を用いた。

5 【0154】 また、赤色光を出力する単色光源11_rを位置（-3.75mm, 0）又は位置（0, -3.75mm）に配置し、緑色光を出力する単色光源11_gを位置（+3.06mm, 0）に配置した。ピンホール12_r、12_g、12_bそれぞれの開口径を150μmとした。空間光変調素子30へ入射される赤色の照明光成分の入射角を+1.43°とし、空間光変調素子30へ入射される緑色の照明光成分の入射角を-1.17°とした。マスク50の開口部51の寸法を2.7mm(W)×1.3mm(H)とした。そして、空間光変調素子30の駆動周波数を70Hzとし、各色（波長）に関連したホログラムを空間光変調素子30に順次呈示させるとともに、これと同期して3つの単色光源11_r、11_g、11_bを順次発光させることにより、マスク50の開口部51を通じてフルカラーの三次元像を鮮明に観察することができた。

15 【0155】 なお、本実施例の如く、青色の再生光成分については0次回折波を観察するのに対して、他の色の再生光成分については高次回折波を観察する場合、0次回折波と比較して高次回折波の光量が小さい。そこで、開口率向上のため画素毎にマクロレンズが搭載された液晶パネルを空間光変調素子30として利用するのが好ましい。これにより、各画素を通過した光が発散されて、高次回折波の光量を多くすることができる。このような液晶パネルとして、ソニー社製の液晶パネルLCX023CMT（画素ピッチP=26μm）を利用することができる。この液晶パネルを利用するとともに、単色光源11_r、11_g、11_bそれぞれに供給する駆動電流の大きさを調整することにより、カラー三次元像の色バランスを向上させることができた。

25 【0156】 以上のように、第4実施例に係る三次元像表示装置4及び三次元

像表示方法は、空間光変調素子 30 へ入射される 3 波長の照明光成分それぞれの入射方位が適切に設定され、かつ、空間光変調素子 30 から発生した 3 波長の再生光成分それぞれの 0 次回折波又は高次回折波がレンズ 40 により波面変換された後に開口部 51 において互いに重なるので、低解像度の空間光変調素子 30 を利用した場合であっても鮮明に三次元像をカラー表示することができる。また、第 2 従来技術の如く 3 波長の再生光成分を重ねあわせるためのハーフミラーが不要とであり、第 3 従来技術の如く高速シャッタも不要であるので、小型かつ安価な三次元像表示装置が得られる。

(第 5 実施例)

【0157】 次に、この発明に係る三次元像表示装置及び三次元像表示方法の第 5 実施例について説明する。図 35 は、第 5 実施例に係る三次元像表示装置 5 の構成を示す図である。この図に示された三次元像表示装置 5 は、照明光源部 10、レンズ 20、ハーフミラー 25、反射型の空間光変調素子 30、レンズ 40 及びマスク 50 を備えている。照明光源部 10、レンズ 20 及びハーフミラー 25 は、3 波長の照明光成分それぞれを平行平面波とし互いに異なる入射方位で空間光変調素子 30 に入射させる照明光学系を構成している。ハーフミラー 25 及びレンズ 40 は、空間光変調素子 30 に呈示されたホログラムから発生した 3 波長の再生像それぞれを、波面変換して虚像化もしくは実像化する再生像変換光学系を構成している。なお、照明光学系と再生像変換光学系とはハーフミラー 25 を共有している。

【0158】 第 4 実施例と比較すると、第 5 実施例に係る三次元像表示装置 5 及び三次元像表示方法は、照明光源部 10、レンズ 20、レンズ 40 及びマスク 50 それぞれが同様であるが、空間光変調素子 30 が反射型の空間光変調素子であることに起因して相互の配置が異なる。また、第 4 実施例と比較すると、第 5 実施例に係る三次元像表示装置 5 の動作及び三次元像表示方法は、照明光成分がレンズ 20 により平行平面波とされた後にハーフミラー 25 を透過して空間光変

調素子 30 へ入射する点、空間光変調素子 30 へ照明光成分が入射する側と同一の側に再生光成分が出射する点、及び、その再生光成分がハーフミラー 25 により反射された後にレンズ 40 により波面変換される点、で異なる。その他の点では、第 5 実施例に係る三次元像表示装置 5 の動作及び三次元像表示方法は、第 4 実施例と原理的に同様である。

【0159】 次に、第 5 実施例の具体例について説明する。空間光変調素子 30 として Micro Display 社製のマイクロモニタ用反射型液晶パネル MD800G6 (画素ピッチ $P = 12.55 \mu\text{m}$) を用いた。レンズ 20 として色収差補正された焦点距離 120 mm のレンズを用い、レンズ 40 として色収差補正された焦点距離 60 mm のレンズを用いた。赤色光を出力する単色光源 11_r としてシチズン電子社製の発光ダイオード CL-280SR-C (波長 650 nm、寸法 1.0(L)×0.5(W)×0.6(H)) を用いた。緑色光を出力する単色光源 11_g として豊田合成社製の発光ダイオード E1S07-AG1A7-02 (波長 530 nm、寸法 1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)) を用いた。青色光を出力する単色光源 11_b として豊田合成社製の発光ダイオード E1S07-AB1A7-02 (波長 470 nm、寸法 1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)) を用いた。

【0160】 また、赤色光を出力する単色光源 11_r を位置 (-6.24 mm, 0) 又は位置 (0, -6.24 mm) に配置し、緑色光を出力する単色光源 11_g を位置 (+5.09 mm, 0) に配置した。ピンホール 12_r、12_g、12_b それぞれの開口径を 150 μm とした。空間光変調素子 30 へ入射される赤色の照明光成分の入射角を +2.98° とし、空間光変調素子 30 へ入射される緑色の照明光成分の入射角を -2.43° とした。マスク 50 の開口部 51 の寸法を 2.2 mm(W)×1.1 mm(H) とした。そして、空間光変調素子 30 の駆動周波数を 90 Hz とし、各色 (波長) に関連したホログラムを空間光変調素子 30 に順次呈出させるとともに、これと同期して 3 つの単色光源 11_r、11_g、11_b を順次発光させることにより、マスク 50 の開口部 51 を介してフルカラーの三次元像を鮮

明に観察することができた。

(第6実施例)

【0161】 次に、この発明に係る三次元像表示装置及び三次元像表示方法の第6実施例について説明する。図36は、第6実施例に係る三次元像表示装置6の構成を示す図である。この図に示された三次元像表示装置6は、照明光源部10、ハーフミラー25、レンズ20、反射型の空間光変調素子30及びマスク50を備えている。照明光源部10、ハーフミラー25及びレンズ20は、3波長の照明光成分それぞれを平行平面波とし互いに異なる入射方位で空間光変調素子30に入射させる照明光学系を構成している。レンズ20及びハーフミラー25は、空間光変調素子30に呈示されたホログラムから発生した3波長の再生像それぞれを、波面変換して虚像化もしくは実像化する再生像変換光学系を構成している。なお、照明光学系と再生像変換光学系とは、レンズ20及びハーフミラー25を共有している。

【0162】 第4実施例と比較すると、第6実施例に係る三次元像表示装置6及び三次元像表示方法は、照明光源部10、空間光変調素子30及びマスク50それぞれが同様のものであるが、空間光変調素子30が反射型の空間光変調素子であることに起因して相互の配置が異なる。また、第4実施例と比較すると、第6実施例に係る三次元像表示装置6の動作及び三次元像表示方法は、レンズ20がレンズ40の作用をも兼ねている点、照明光成分がハーフミラー25を透過した後、レンズ20により平行平面波とされて空間光変調素子30へ入射する点、空間光変調素子30へ照明光成分が入射する側と同一の側に再生光成分が出射する点、及び、その再生光成分がレンズ20を経た後にハーフミラー25により反射されて波面変換される点、で異なる。その他の点では、第6実施例に係る三次元像表示装置6の動作及び三次元像表示方法は、第4実施例と原理的に殆ど同様である。

【0163】 次に、第6実施例の具体例について説明する。空間光変調素子3

0としてMicro Display 社製のマイクロモニタ用反射型液晶パネルMD 8 0 0 G
6（画素ピッチ $P = 12.55\mu\text{m}$ ）を用いた。レンズ40の作用を兼ねるレン
ズ20として色収差補正された焦点距離60mmのレンズを用いた。赤色光を出
力する単色光源11_rとしてシチズン電子社製の発光ダイオードCL-280SR
5・C（波長650nm、寸法1.0(L)×0.5(W)×0.6(H)）を用いた。緑色光を出力する
単色光源11_gとして豊田合成社製の発光ダイオードE1S07・AG1A7・0
2（波長530nm、寸法1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)）を用いた。青色光を出力す
る単色光源11_bとして豊田合成社製の発光ダイオードE1S07・AB1A7・
02（波長470nm、寸法1.6(L)×0.6(W)×1.15(H)）を用いた。

10 【0164】 また、赤色光を出力する単色光源11_rを位置（-3.02mm,
0）又は位置（0, -3.02mm）に配置し、緑色光を出力する単色光源11_g
を位置（+2.54mm, 0）に配置した。ピンホール12_r、12_g、12_bそれ
ぞれの開口径を150 μm とした。空間光変調素子30へ入射される赤色の照明
光成分の入射角を+2.98°とし、空間光変調素子30へ入射される緑色の照明
15 光成分の入射角を-2.43°とした。マスク50の開口部51の寸法を2.2m
m(W)×1.1mm(H)とした。そして、空間光変調素子30の駆動周波数を90
Hzとし、各色（波長）に関連したホログラムを空間光変調素子30に順次呈示
させるとともに、これと同期して3つの単色光源11_r、11_g、11_bを順次発光
させることにより、マスク50の開口部51を介してフルカラーの三次元像を鮮
20 明に観察することができた。

【0165】 以上の本発明の説明から、本発明を様々に変形しうることは明らかである。そのような変形は、本発明の思想及び範囲から逸脱するものとは認め
ることはできず、すべての当業者にとって自明である改良は、以下の請求の範囲
に含まれるものである。

25 産業上の利用可能性

【0166】 この発明によれば、離散的画素構造を有する空間光変調素子に、

複数波長それぞれに関連したホログラムが呈示される。この空間光変調素子に対して、照明光学系により複数波長の照明光成分それぞれが平行平面波とされ互いに異なる入射方位で入射する。空間光変調素子に呈示されたホログラムから発生した複数波長の再生像それぞれは、再生像変換光学系により波面変換されて虚像

5 化もしくは実像化される。その焦点面には、開口部を有するマスクを設けられている。そして、複数波長の再生光成分それぞれの何れかの次数の回折波が再生像変換光学系により開口部において互いに重なるよう、空間光変調素子へ入射される複数波長の照明光成分それぞれの入射方位が照明光学系により設定される。このように構成されることで、低解像度の空間光変調素子が適用された場合であつ

10 ても鮮明に三次元像をカラー表示することができる、小型かつ安価な三次元像表示装置等を提供することができる。

請求の範囲

1. 複数波長の照明光成分をホログラムに入射させることにより、該ホログラムから該複数波長の再生光成分を発生させ、これら再生光成分により三次元像を表示する三次元像表示装置であって、

5 前記複数波長それぞれに関連したホログラムを呈示する離散的画素構造を有する空間光変調素子と、

前記複数波長の照明光成分それぞれを平行平面波にし、互いに異なる入射方位で前記空間光変調素子に入射させる照明光学系と、

10 前記空間光変調素子に呈示されたホログラムから発生した前記複数波長の再生像それぞれを、波面変換して虚像化もしくは実像化する再生像変換光学系と、そして、

前記再生像変換光学系の焦点面に設けられた開口部を有するマスクとを備え、

15 前記複数波長の再生光成分それぞれのうち何れかの次数の回折波が前記再生像変換光学系により波面変換された後に前記開口部において互いに重なるよう、前記空間光変調素子へ入射される前記複数波長の照明光成分それぞれの入射方位が前記照明光学系により設定された三次元像表示装置。

2. 請求項 1 記載の三次元像表示装置において、

20 前記照明光学系は、それぞれ出力波長の異なる複数の単色光源と、前記複数の単色光源それぞれに近接して設けられた複数のピンホールと、そして、前記複数の単色光源それぞれから出力され前記ピンホールを通過した光をコリメートするコリメート光学系とを含む。

3. 請求項 1 記載の三次元像表示装置において、

前記照明光学系は、前記複数波長の光成分それぞれに対して同一の焦点距離を有する色収差補正レンズを含む。

25 4. 請求項 1 記載の三次元像表示装置において、

前記再生像変換光学系は、前記複数波長の光成分それぞれに対して同一の焦点

距離を有する色収差補正レンズを含む。

5. 請求項 1 記載の三次元像表示装置において、

前記複数波長の再生光成分それぞれの 0 次回折波が前記再生像変換光学系により波面変換された後に前記開口部において互いに重なるよう、前記空間光変調素子へ入射される前記複数波長の照明光成分それぞれの入射方位が前記照明光学系により設定されている。

6. 請求項 1 記載の三次元像表示装置において、

前記複数波長のうち何れかの特定波長の照明光成分が前記空間光変調素子に垂直入射されるとともに、前記特定波長の再生光成分の 0 次回折波と他の波長の再生光成分の高次回折波とが前記再生像変換光学系により波面変換された後に前記開口部において互いに重なるよう、前記空間光変調素子へ入射される前記複数波長の照明光成分それぞれの入射方位が前記照明光学系により設定されている。

7. 請求項 6 記載の三次元像表示装置において、

前記空間光変調素子の画素ピッチを P とし、前記再生像変換光学系の焦点距離を f とし、前記複数波長のうち最短波長 λ_1 の再生光成分の回折波の次数を n_1 とし、他の波長 λ_i の再生光成分の回折波の次数を n_i とするとき、前記空間光変調素子へ入射される波長 λ_i の照明光成分の入射角 θ_i は、

$$\theta_i = \sin^{-1} \{ (n_1 \lambda_1 - n_i \lambda_i) / P \}$$

なる式で表され、そして、

前記開口部は、各辺の長さが $\lambda_1 f / P$ 以下の矩形形状である。

8. 請求項 1 記載の三次元像表示装置において、

前記空間光変調素子は、前記照明光成分が入射する側と反対の側にそれぞれ再生光成分を出射する透過型構造を有する。

9. 請求項 1 記載の三次元像表示装置において、

前記空間光変調素子は、前記照明光成分が入射する側と同一の側に再生光成分を出射する反射型構造を有し、そして、

前記照明光学系と前記再生像変換光学系とは、光部品の一部を共有している。

10. 請求項1記載の三次元像表示装置において、

前記空間光変調素子には、画素毎にマイクロレンズが搭載されている。

5 11. 複数波長の照明光成分をホログラムに入射させることにより、該ホログラムから該複数波長の再生光成分を発生させ、これら再生光成分により三次元像を表示する三次元像表示方法であって、

前記複数波長それぞれに関連したホログラムを呈示する離散的画素構造を有する空間光変調素子を用意し、

10 照明光学系によって前記複数波長の照明光成分それぞれを平行平面波とするとともに、該照明光学系によって互いに異なる入射方位で前記空間光変調素子に入射させ、

前記空間光変調素子に呈示されたホログラムから発生した前記複数波長の再生像それぞれを、再生像変換光学系により波面変換することで虚像化もしくは実像化し、

15 前記再生像変換光学系の焦点面に開口部を有するマスクを配置し、そして、

前記複数波長の再生光成分それぞれの何れかの次数の回折波が前記再生像変換光学系により波面変換された後に前記開口部において互いに重なるよう、前記空間光変調素子へ入射される前記複数波長の照明光成分それぞれの入射方位を前記照明光学系により設定する三次元像表示方法。

20 12. 請求項11記載の三次元像表示方法において、

前記照明光学系は、それぞれが出力波長の異なる複数の単色光源と、前記複数の単色光源それぞれに近接して設けられた複数のピンホールと、そして、前記複数の単色光源それぞれより出力され前記ピンホールを通過した光をコリメートするコリメート光学系とを含む。

25 13. 請求項11記載の三次元像表示方法において、

前記照明光学系は、前記複数波長の光成分に対して同一の焦点距離を有する色

収差補正レンズを含む。

14. 請求項1記載の三次元像表示方法において、

前記再生像変換光学系は、前記複数波長の光成分に対して同一の焦点距離を有する色収差補正レンズを含む。

5 15. 請求項1記載の三次元像表示方法において、

前記複数波長の再生光成分それぞれの0次回折波が前記再生像変換光学系により波面変換された後に前記開口部において互いに重なるよう、前記空間光変調素子へ入射される前記複数波長の照明光成分それぞれの入射方位を前記照明光学系により設定する。

10 16. 請求項1記載の三次元像表示方法において、

前記複数波長のうち何れかの特定波長の照明光成分が前記空間光変調素子に垂直入射されるとともに、前記特定波長の再生光成分の0次回折波と他の波長の再生光成分の高次回折波とが前記再生像変換光学系により波面変換された後に前記開口部において互いに重なるよう、前記空間光変調素子へ入射される前記複数波長の照明光成分それぞれの入射方位を前記照明光学系により設定する。

15 17. 請求項16記載の三次元像表示方法において、

前記空間光変調素子の画素ピッチをPとし、前記再生像変換光学系の焦点距離をfとし、前記複数波長のうち最短波長 λ_1 の再生光成分の回折波の次数を n_1 とし、他の波長 λ_i の再生光成分の回折波の次数を n_i とすると、前記空間光変調素子へ入射される波長 λ_i の照明光成分の入射角 θ_i は、

$$\theta_i = \sin^{-1} \{ (n_1 \lambda_1 - n_i \lambda_i) / P \}$$

なる式で表され、そして、

前記開口部は、各辺の長さが $\lambda_1 f / P$ 以下の矩形形状である。

18. 請求項1記載の三次元像表示方法において、

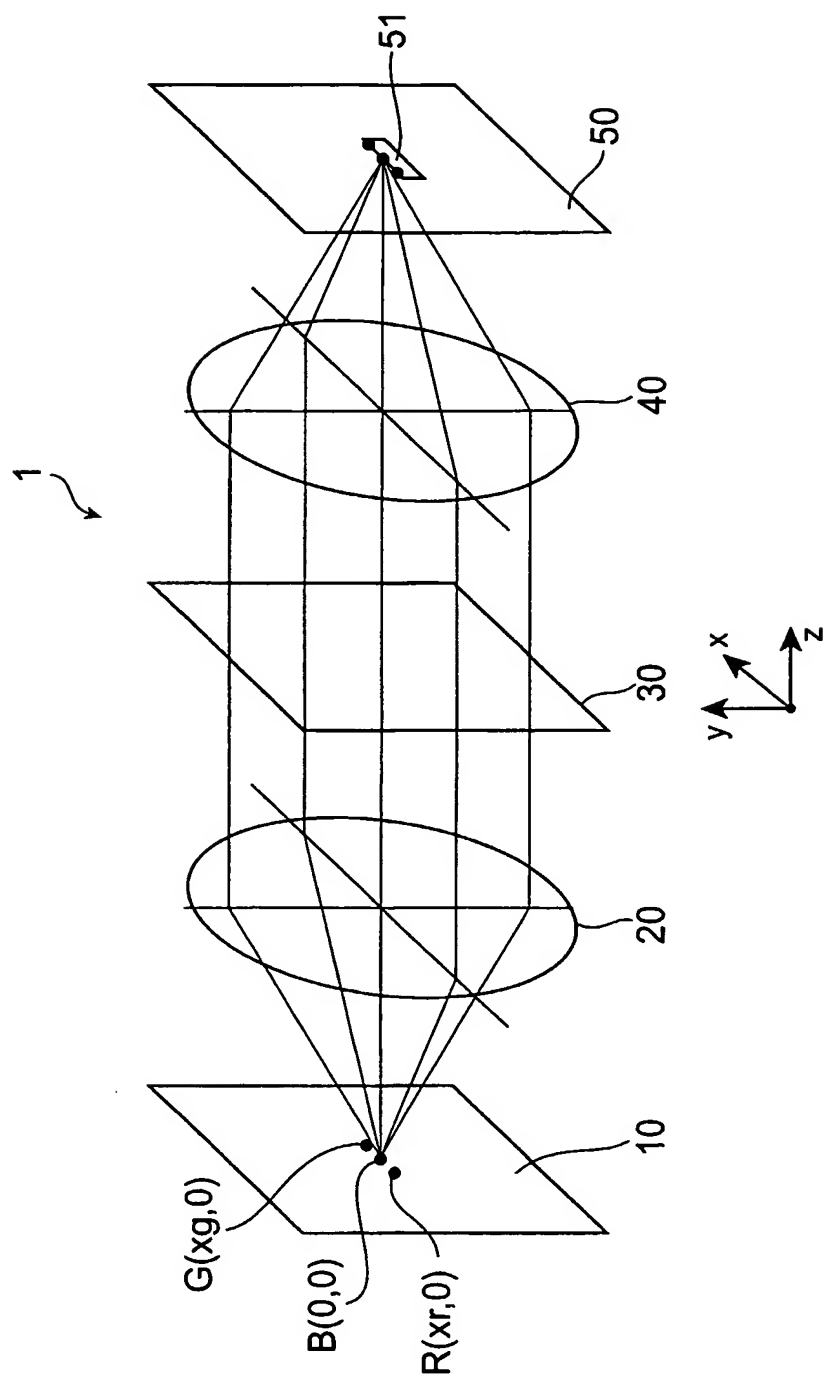
25 前記空間光変調素子は、前記照明光成分が入射する側と反対の側に再生光成分を出射する透過型構造を有する。

19. 請求項11記載の三次元像表示方法において、
前記空間光変調素子は、前記照明光成分が入射する側と同一の側に再生光成分
を出射する反射型構造を有し、そして、

前記照明光学系と前記再生像変換光学系とは、光部品の一部を共有している。

5 20. 請求項11記載の三次元像表示方法において、
前記空間光変調素子には、画素毎にマイクロレンズが搭載されている。

图1



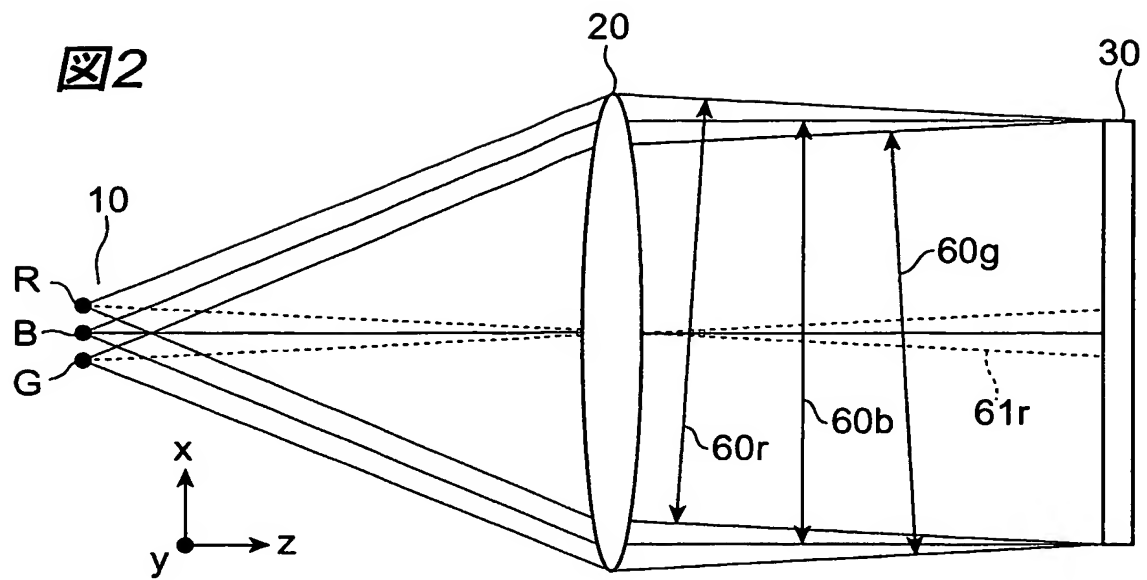


図3

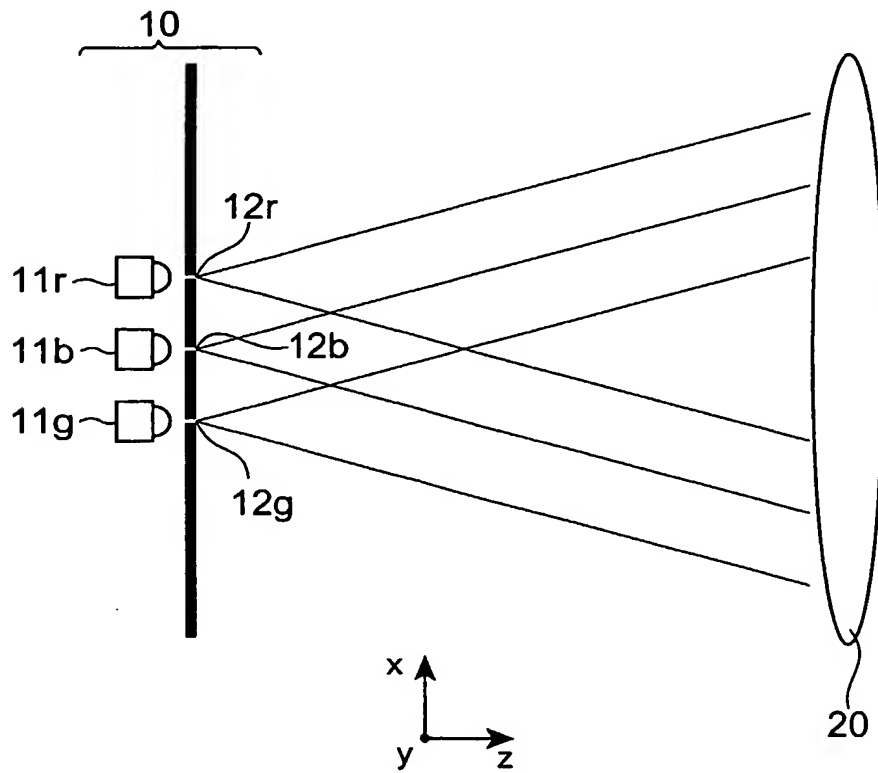


図4

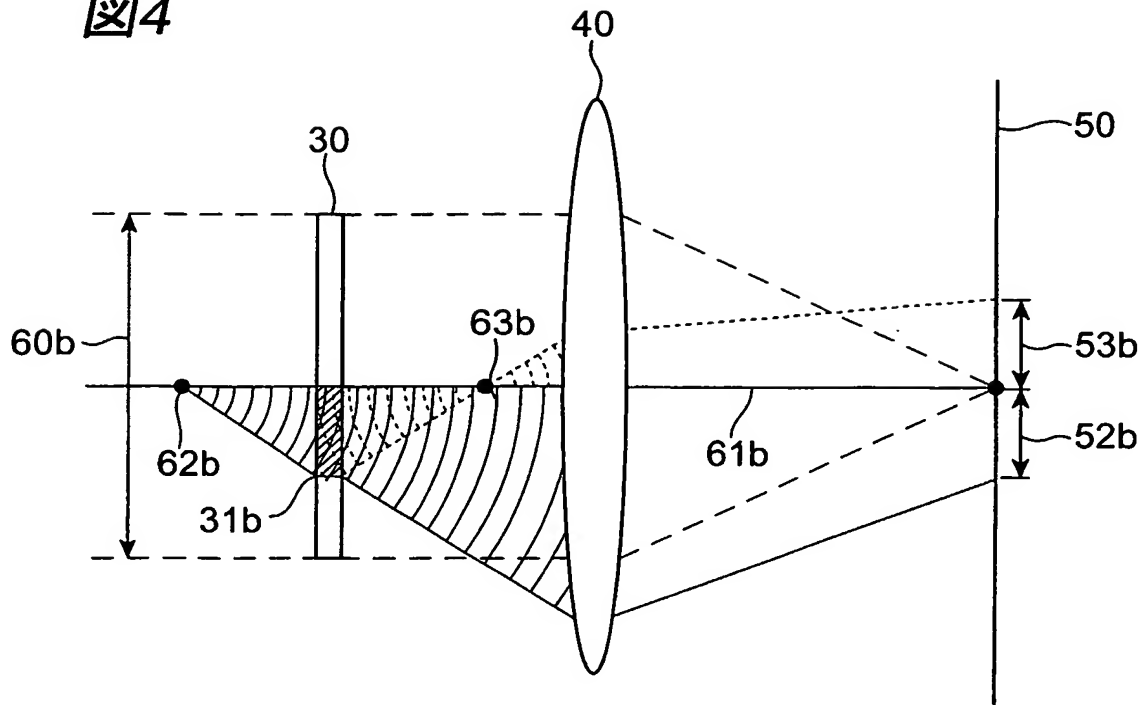


図5

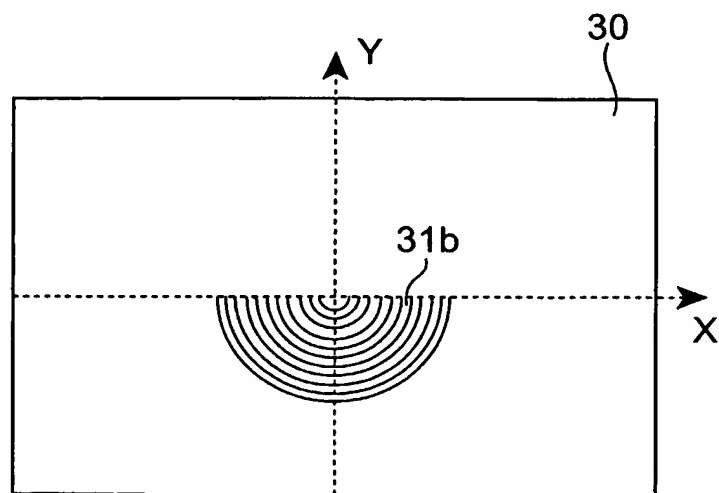


図6

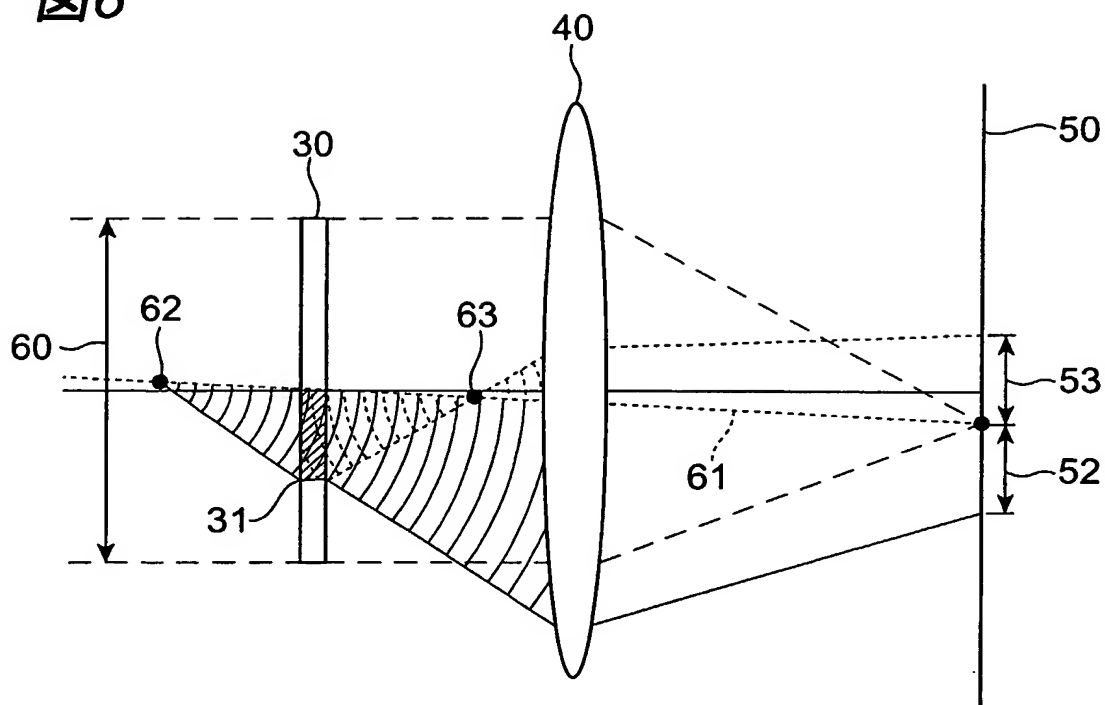


図7

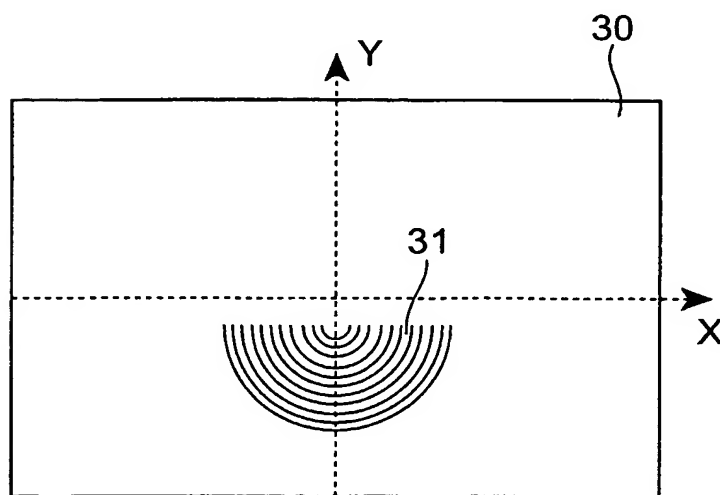


図8

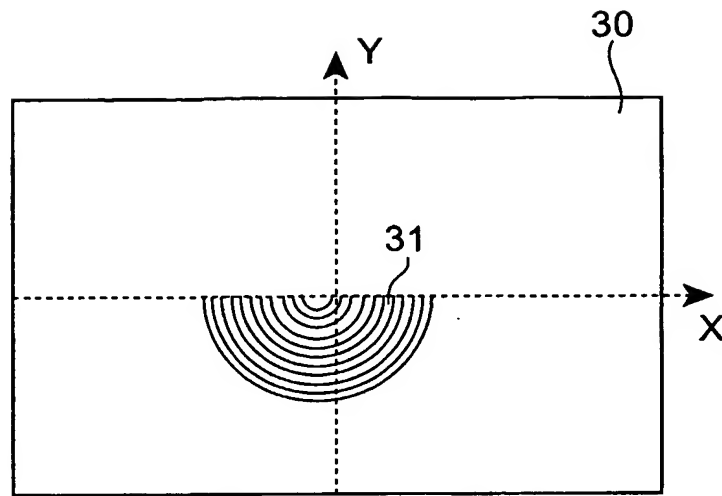


図9

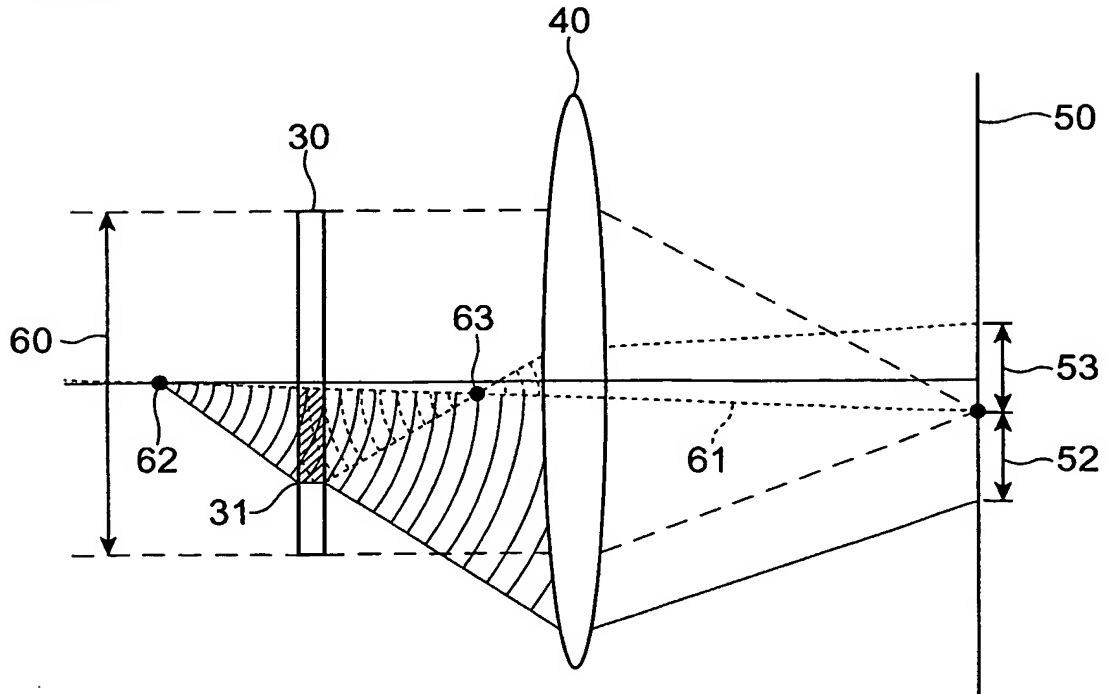


图 10

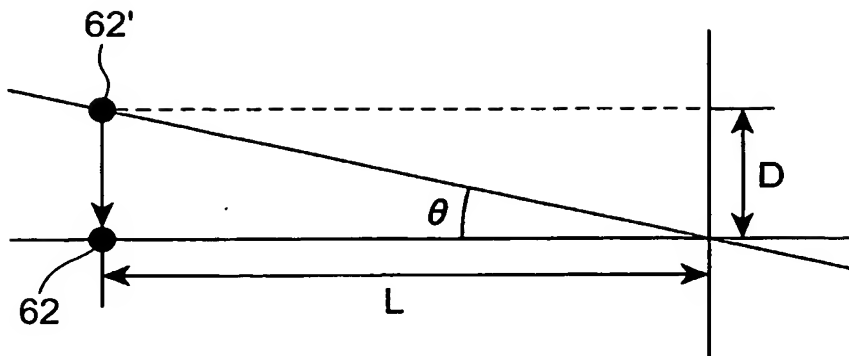


图 11

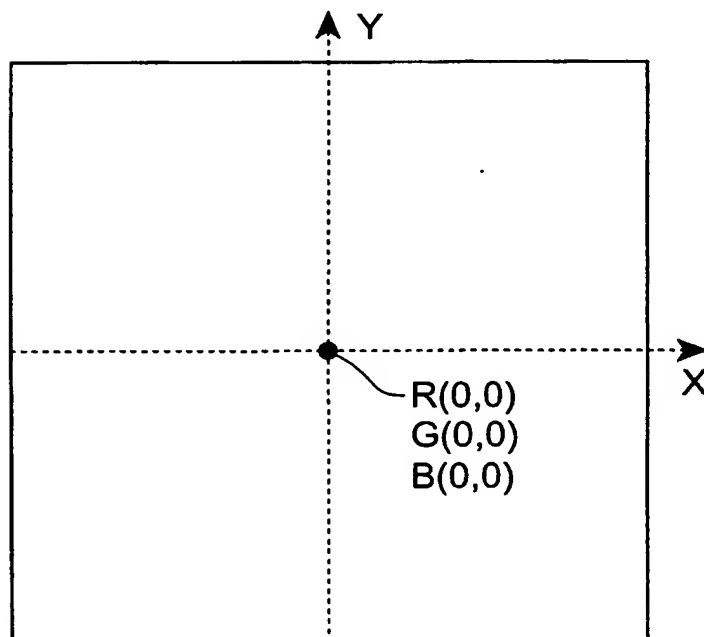


図12

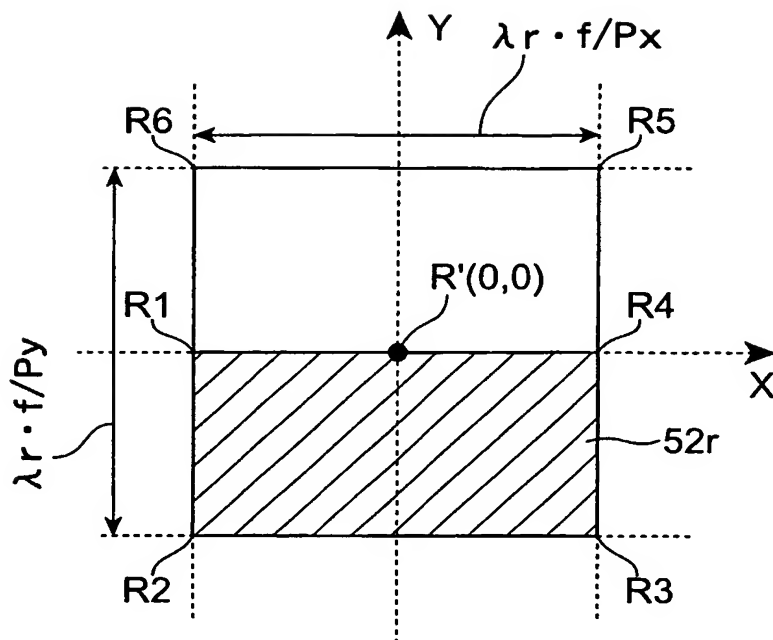


図13

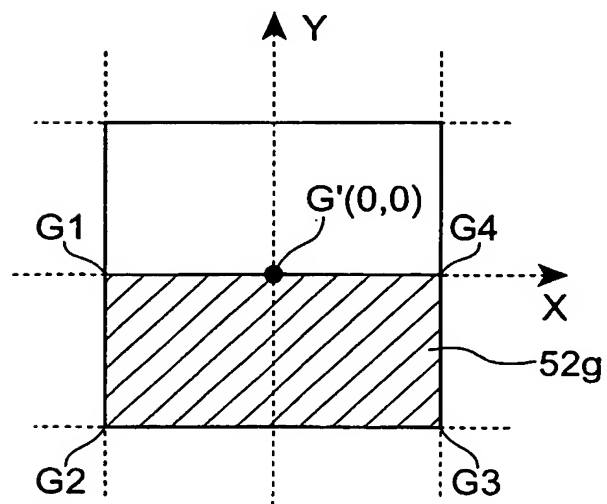


図14

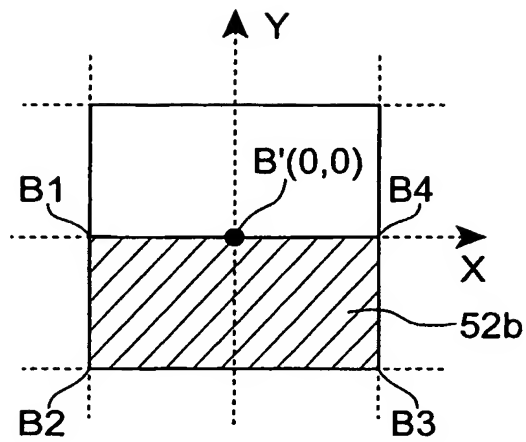


図15

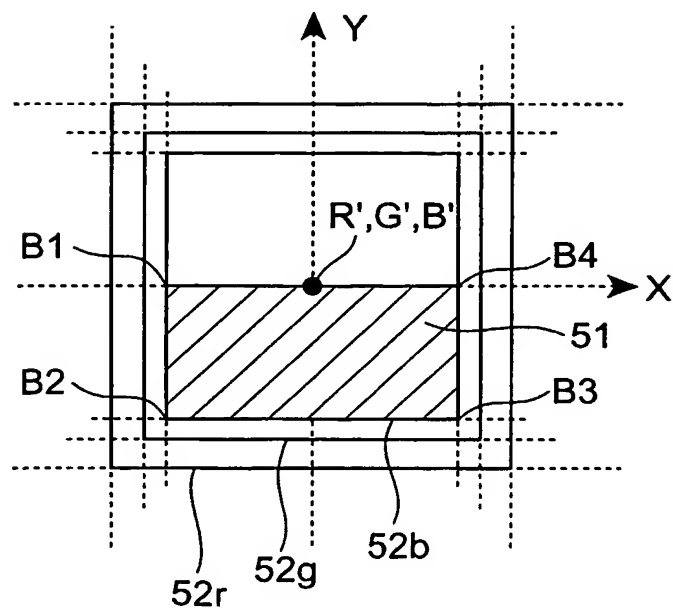


図16

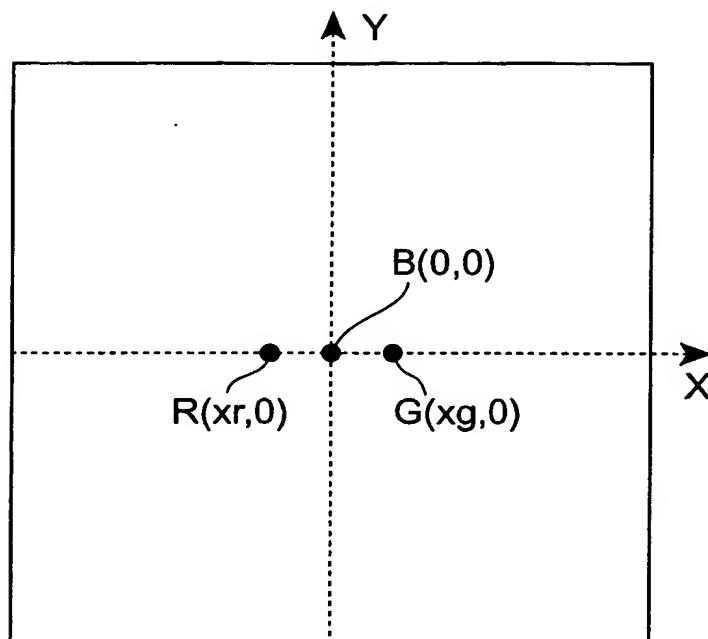


図17

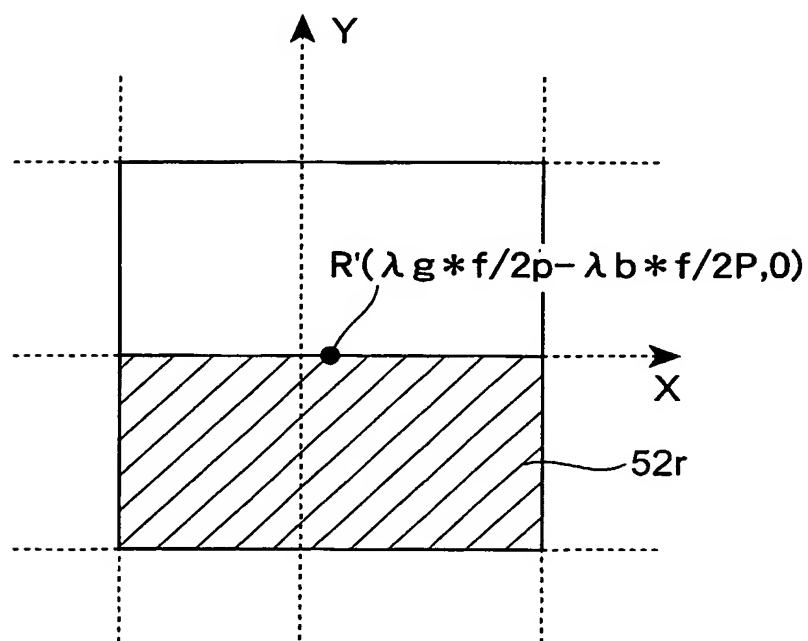


図18

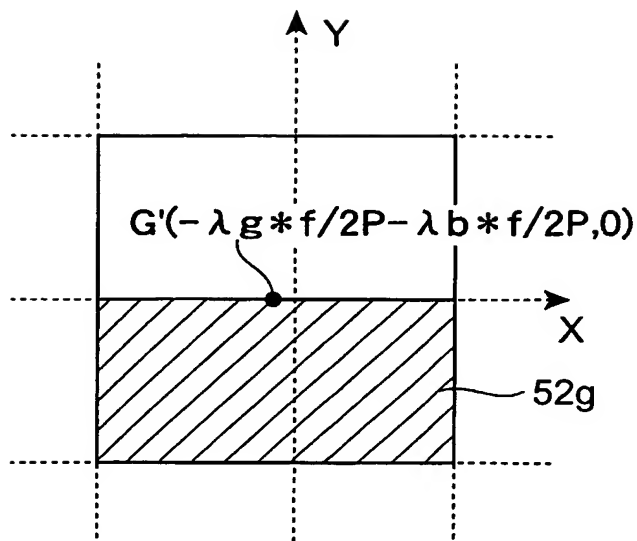


図19

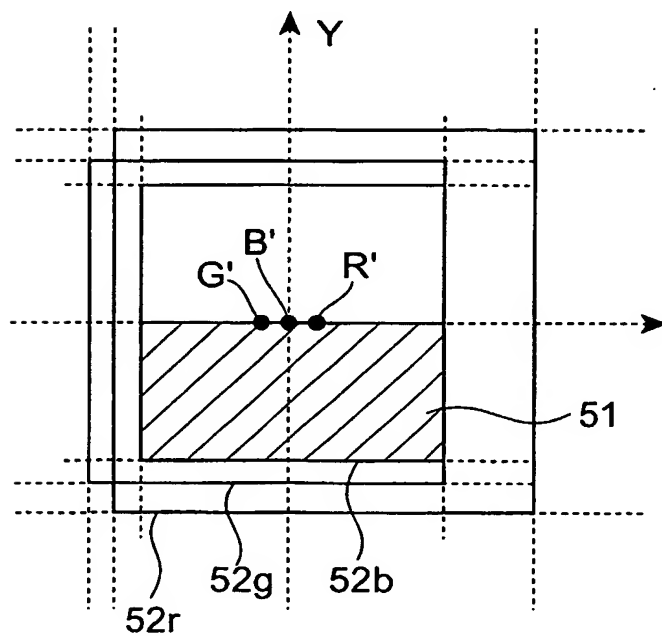


図20

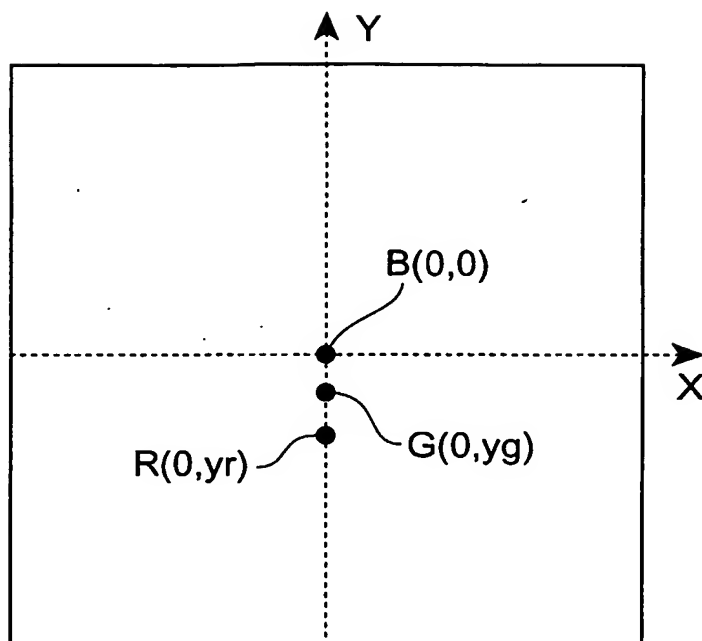


図21

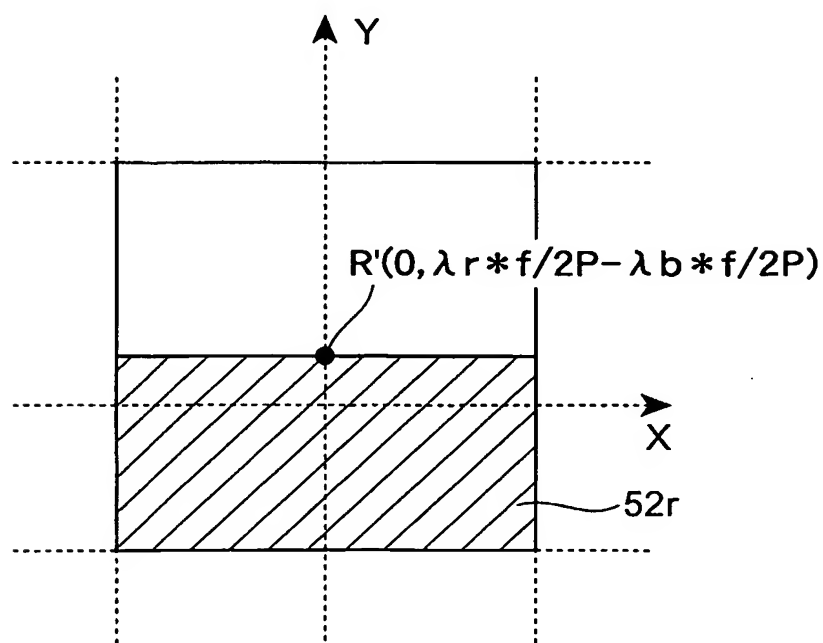


図22

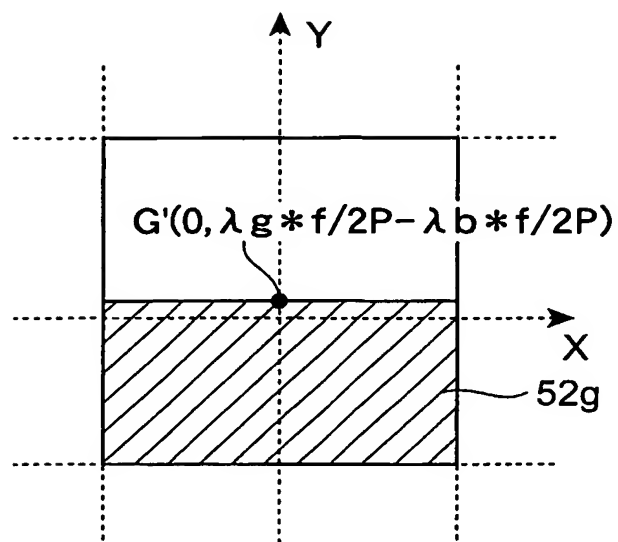


図23

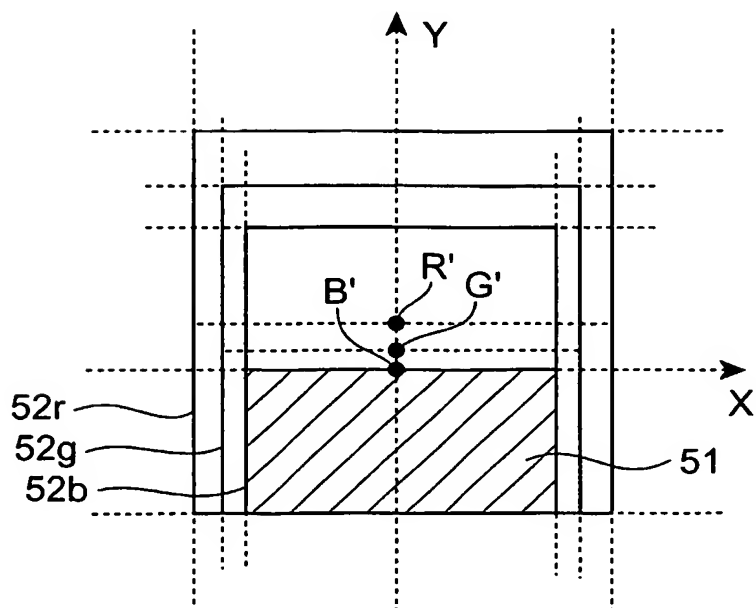


図24

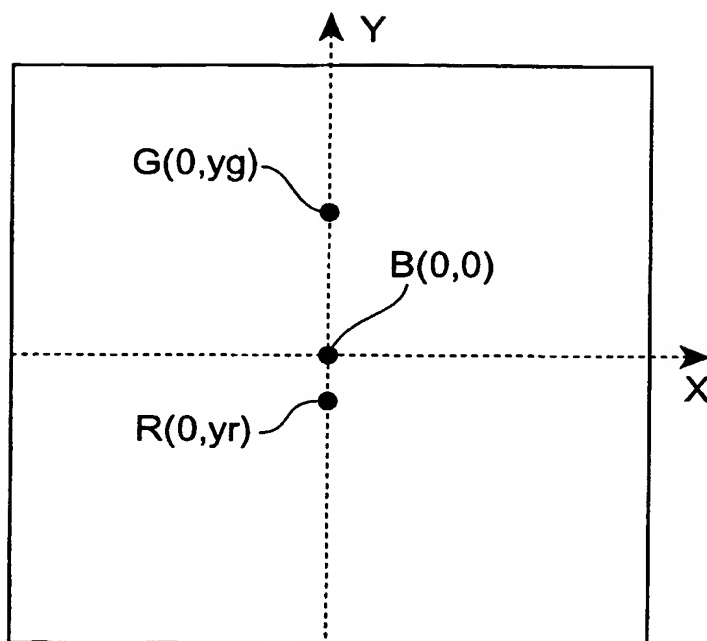


図25

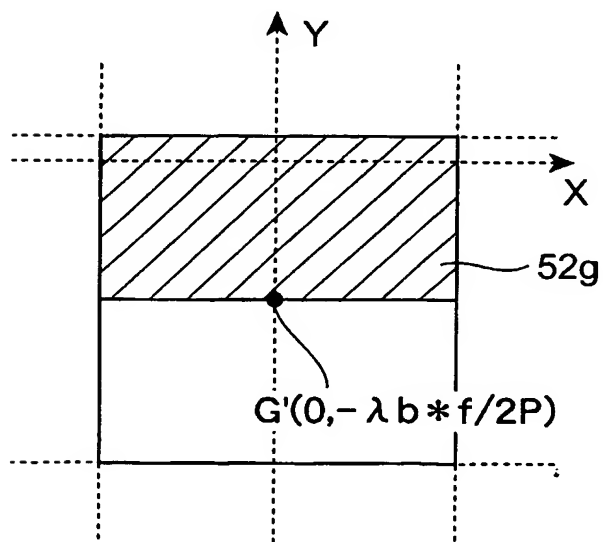


図26

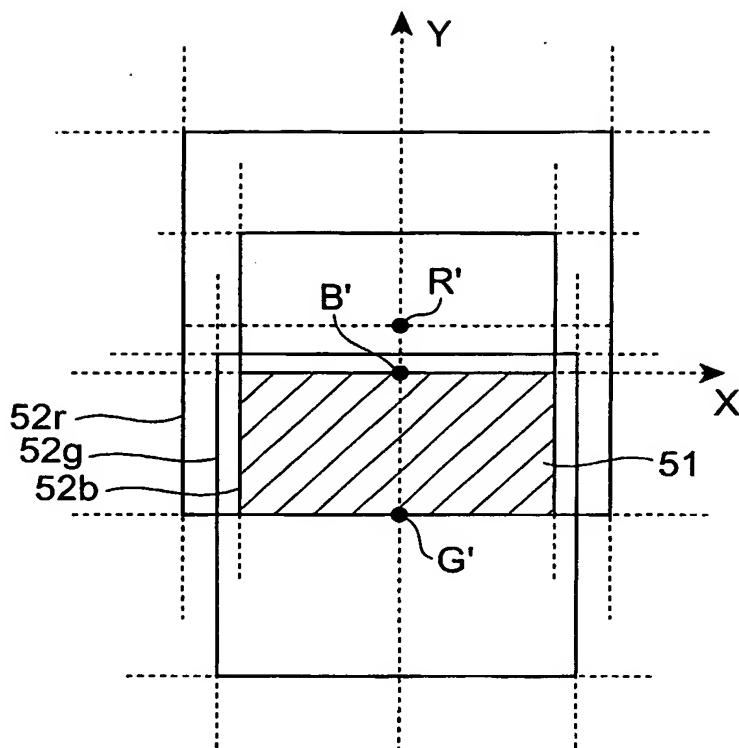


FIG 28

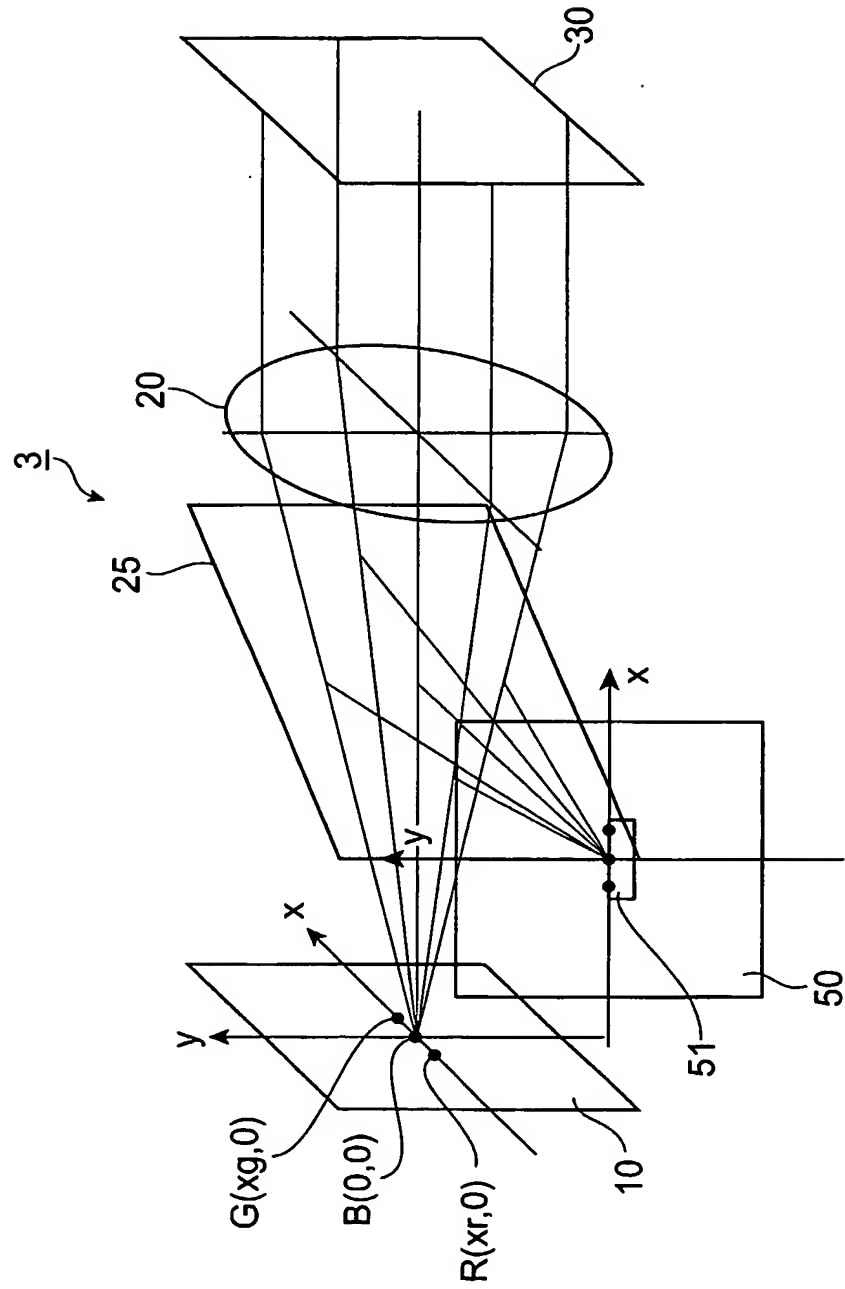


図29

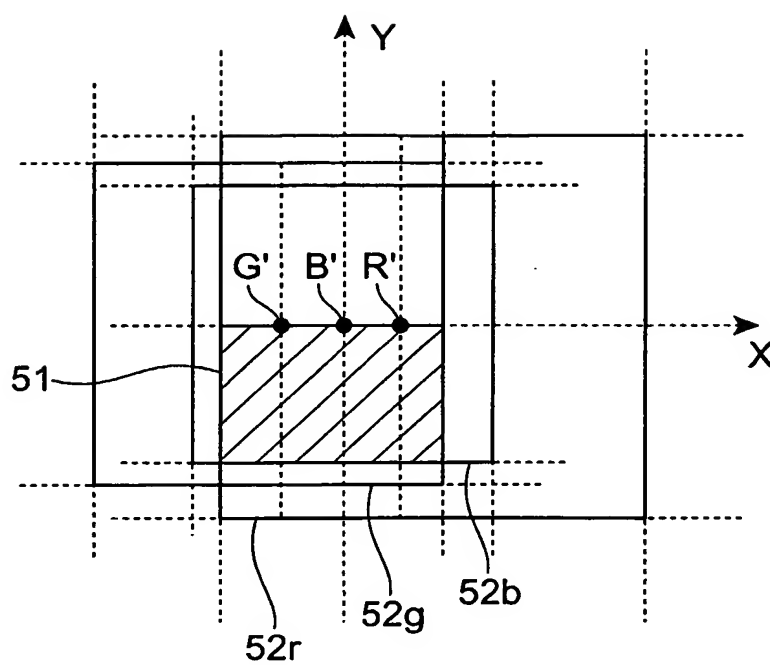


図30

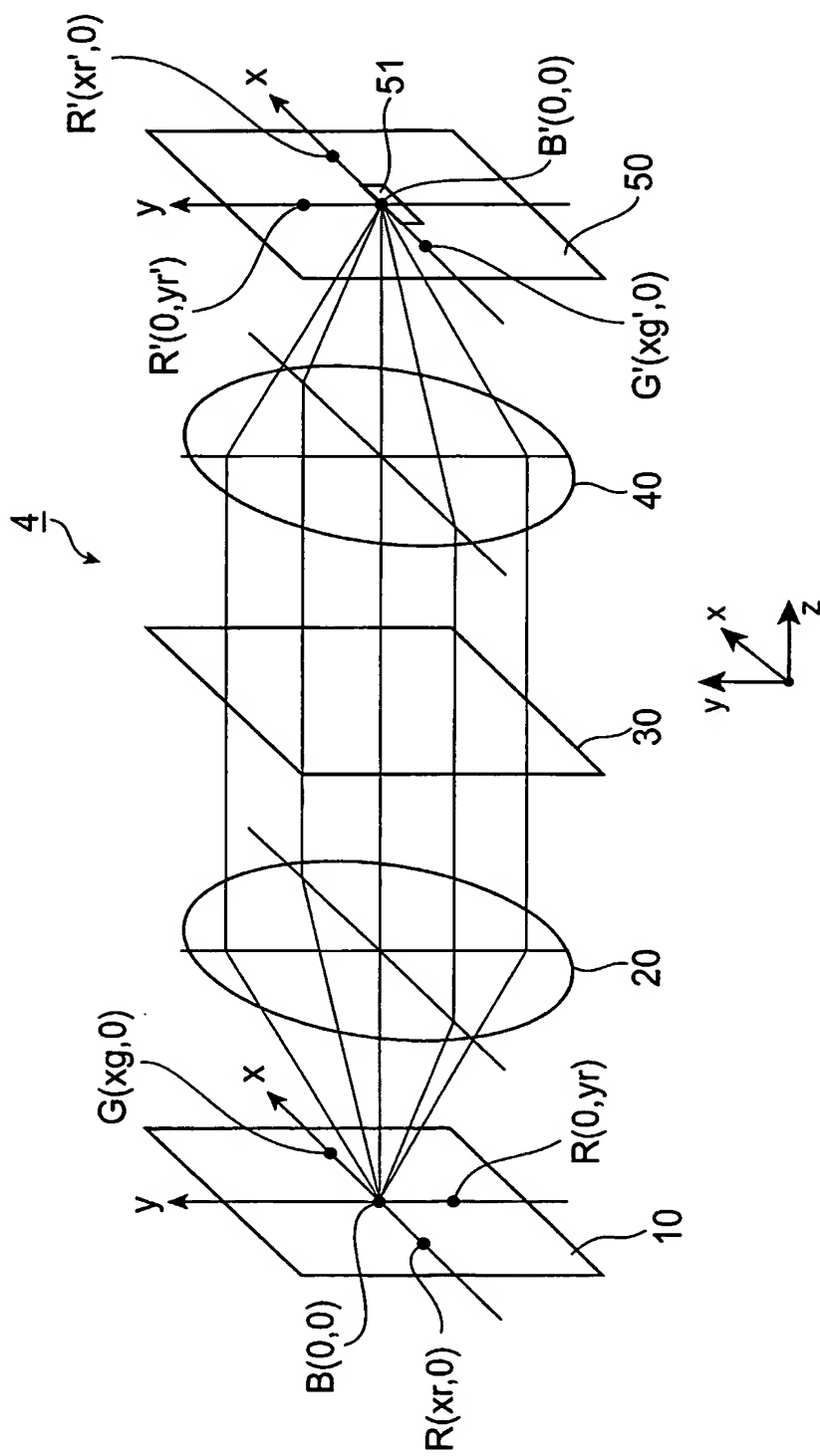


図31

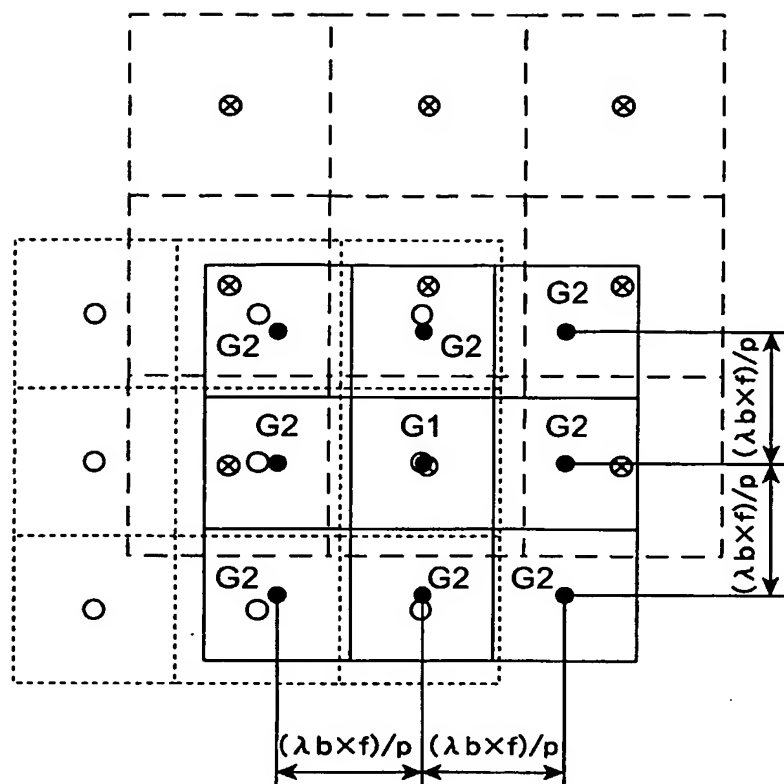


図32

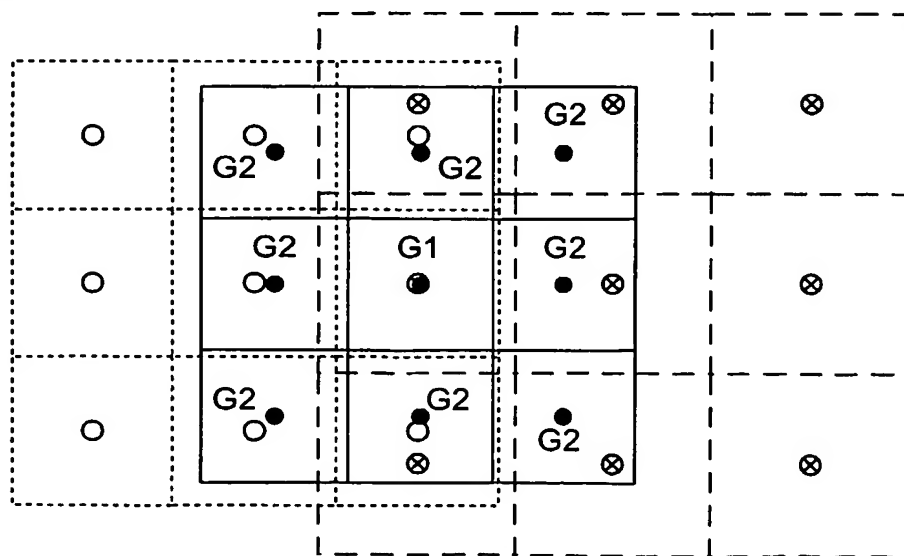


図33

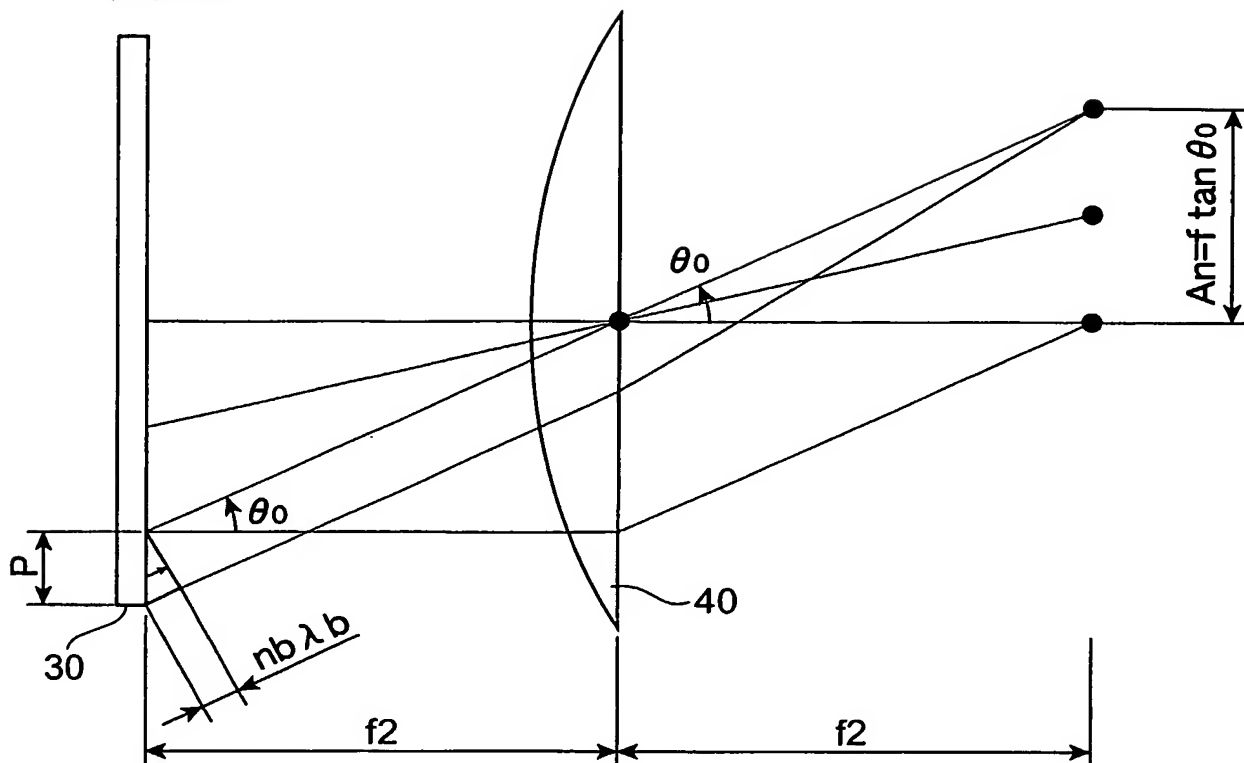


図34

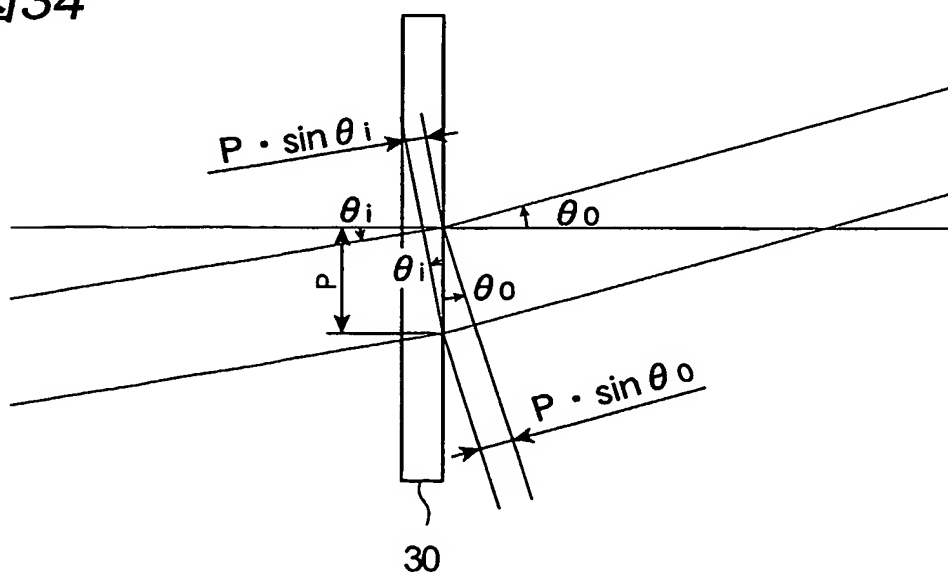
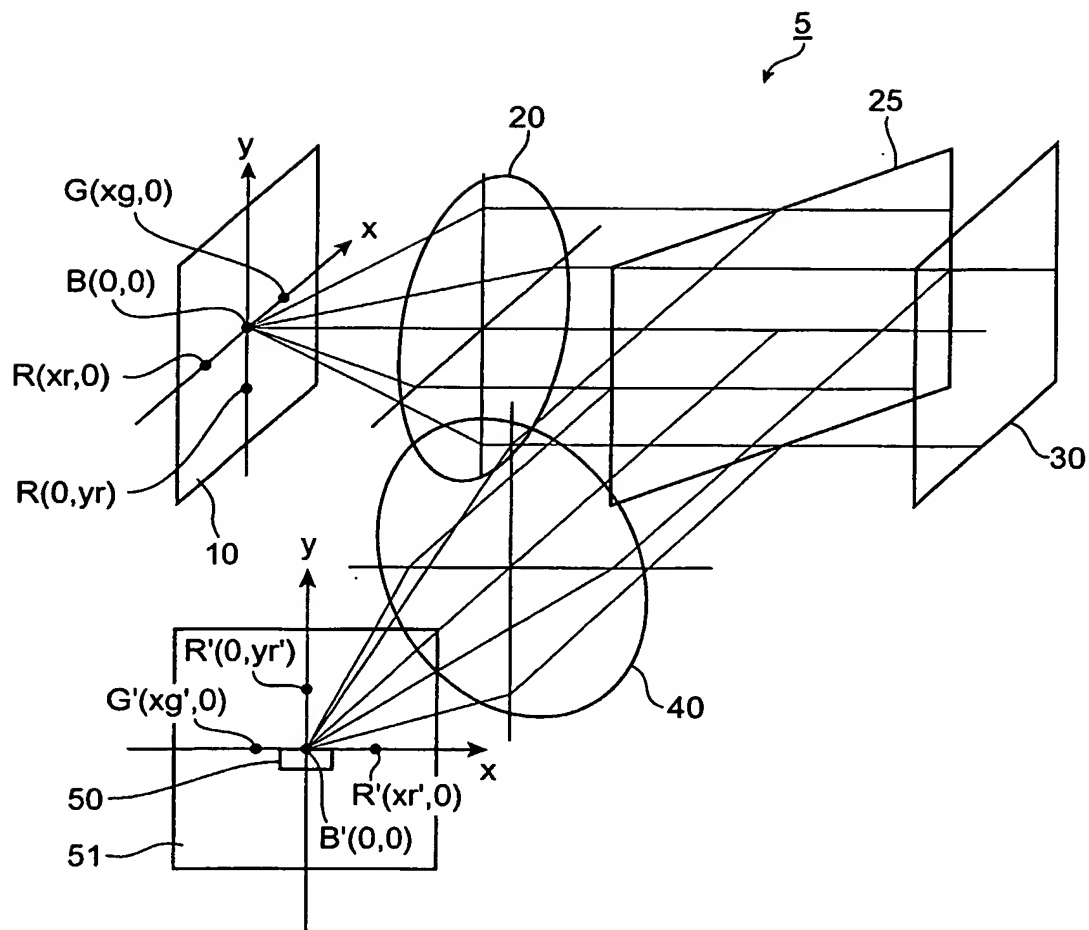
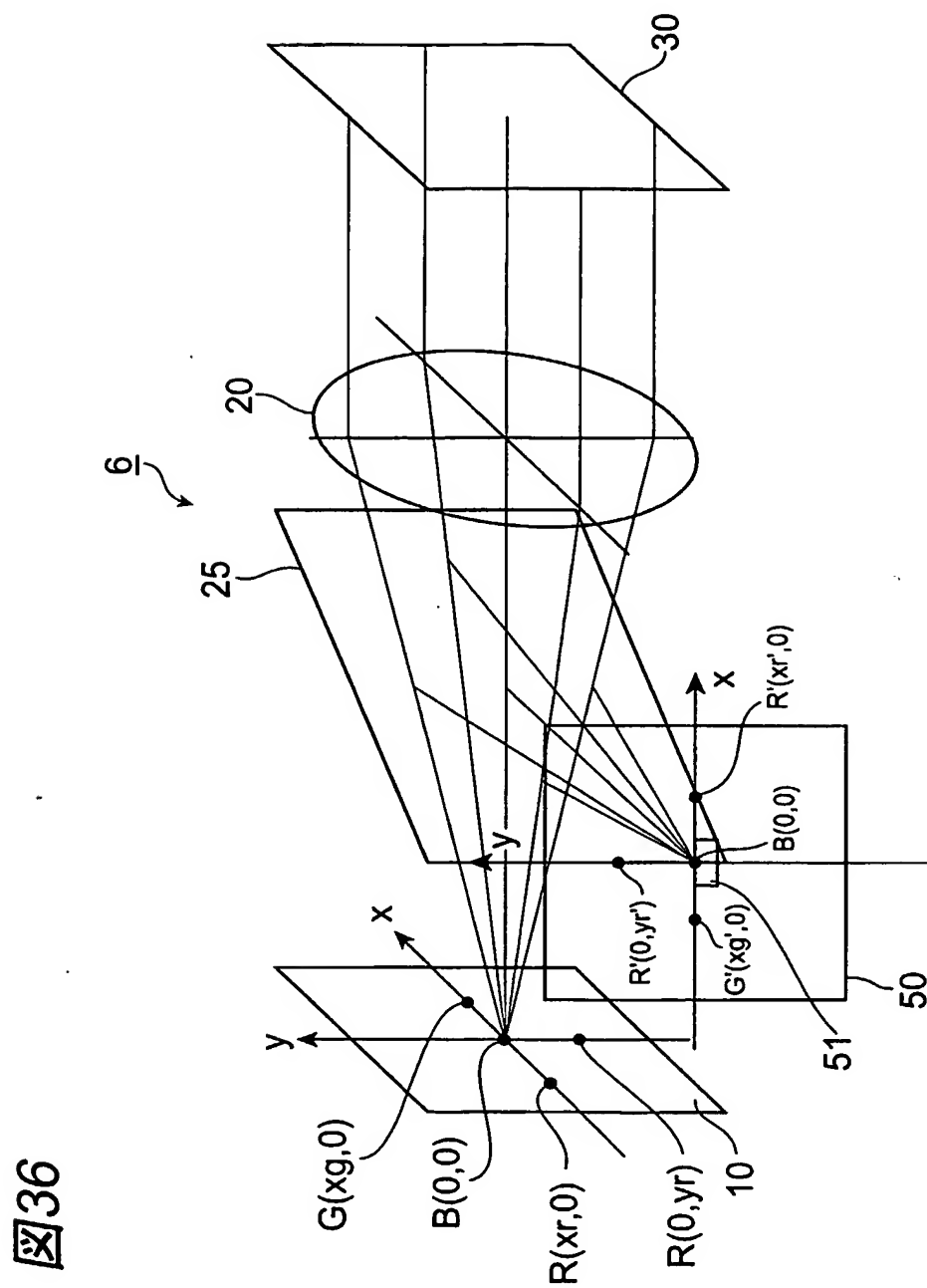


図35





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP03/11625

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G03H1/26, G03H1/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G03H1/26, G03H1/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-250387 A (Nippon Hoso Kyokai), 14 September, 2000 (14.09.00); Full text; all drawings (Family: none)	1-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 December, 2003 (16.12.03)

Date of mailing of the international search report
13 January, 2004 (13.01.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ G03H 1/26, G03H 1/16

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ G03H 1/26, G03H 1/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2003年
日本国登録実用新案公報 1994-2003年
日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2000-250387 A (日本放送協会) 2000.09.14、全文、全図 (ファミリーなし)	1-20

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 16.12.03

国際調査報告の発送日 13.01.04

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
森内 正明

2V 9222

電話番号 03-3581-1101 内線 3269